

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE PAREDES EM REGIME DINÂMICO EM FUNÇÃO DO CLIMA

BRUNO ESTEVES DE VASCONCELOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Vasco Manuel Araújo Peixoto de Freitas

JANEIRO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais

“Os factos são teimosos”

Lenine

AGRADECIMENTOS

Uma vez concluído o árduo percurso que teve como resultado o presente trabalho, não poderei deixar de agradecer a todos aqueles que, directa ou indirectamente, contribuíram para que este se tornasse possível:

Agradeço ao Professor Vasco Peixoto de Freitas, meu orientador neste trabalho, por toda a disponibilidade, interesse e empenho que sempre emprestou à sua realização e pela sabedoria e conhecimentos que soube transmitir.

Agradeço à Professora Eva Barreira pela ajuda e disponibilidade demonstrada sempre que necessário.

Agradeço aos meus pais pela impagável dívida que me deixam em resultado dos muitos anos de luta e sacrifício que hoje culminam com a conclusão do curso.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial àqueles que mais de perto manifestaram o seu interesse e preocupação com o desenvolvimento deste trabalho e que sempre souberam estar ao meu lado para me apoiar e reconfortar quando de tal necessitei.

RESUMO

A humidade nas fachadas dos edifícios provoca de uma forma lenta, invisível e silenciosa, degradações nos materiais de construção. Originada, na maior parte das vezes, pela incidência da chuva e por condensações à superfície, proporciona condições ideais para o desenvolvimento de microrganismos (algas e fungos).

O desenvolvimento destes microrganismos está fortemente relacionado com o teor de humidade à superfície, que resulta da humedificação pela chuva incidente na fachada, da humedificação por condensação superficial e do processo de secagem. Estes três parâmetros são influenciados pela orientação, que altera a quantidade de radiação atmosférica e solar incidente na fachada, pela velocidade e direcção do vento e pelas propriedades físicas dos materiais que constituem o elemento (resistência térmica, absorção solar, absorção de água líquida, emissividade, inércia térmica exterior, etc.).

Nesse sentido, efectuou-se um estudo cujo objectivo é avaliar a ocorrência de condensações e o teor de humidade à superfície das fachadas. Assim, recorreu-se à simulação numérica utilizando o programa de cálculo automático “WUFI Pro 4.2” desenvolvido pelo “Fraunhofer Institut für Bauphysik”, de modo a avaliar como o tipo de solução construtiva, a localização, a orientação, a cor da fachada e a espessura do isolamento térmico influenciam as condensações e o teor de humidade à superfície, e consequentemente o desenvolvimento de microrganismos.

Considerou-se importante incluir no presente trabalho, para melhor compreensão e estudo do comportamento higrotérmico de edifícios, um capítulo dedicado à terminologia correntemente utilizada nos estudos de higrotérmica.

No final deste estudo, de forma a permitir uma rápida interpretação dos resultados obtidos, é apresentado um quadro que através de uma gradação de cores possibilita uma percepção global do risco de desenvolvimento de microrganismos nas diferentes soluções estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Fachadas, Desempenho higrotérmico, Terminologia no domínio da higrotérmica, Simulação numérica, Desenvolvimento de microrganismos (algas e fungos).

ABSTRACT

The humidity on the façades of the buildings provokes in a slow, invisible and silent way degradations on the construction materials. Originated mostly by the incidence of rain and condensations on the surface, it allows the ideal conditions for the growth of microorganisms (seaweeds and fungus).

The development of these microorganisms is deeply connected to the level of humidity on the surface that results from the humidification by the incidence of the rain on the façade, of the humidification by superficial condensation and the process of drying. These three parameters are influenced by the orientation that modifies the quantity of atmospheric and solar radiation incident on the façade, by the velocity and direction of the wind and by the physical properties of the materials that constitute the element (thermal resistance, solar absorption, liquid water absorption, emissivity, external thermal inertia, etc).

In that sense, to evaluate the occurrence of condensations and the level of humidity on the surface of the façades, a study was taken. This way, with recourse to numerical simulation by using the automatic programme of calculation “WUFI Pro 4.2” developed by “Fraunhofer Institut für Bauphysik” in order to evaluate how the kind of constructive solution, the location, orientation, the color of the façade and the thickness of the thermal isolation influence the condensations and the levels of humidity on the surface and consequently the development of microorganisms.

It was considered relevant to include in this work, to a better understanding and study of the hightothermal behavior of the buildings, a chapter dedicated to the terminology currently used in the studies about highthermics.

At the end of this study, in a way to allow a quick interpretation of the obtained results, it is presented a chart that through a gradation of colors allows a global perception of the risk of microorganisms’ development in the different solutions studied.

KEYWORDS: Façades, Hightothermal performance, Terminology of the hightothermal domain, Numerical simulation, Microorganisms development (seaweeds and fungus).

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. TERMINOLOGIA NO DOMÍNIO DA HIGROTÉRMICA	5
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
2.2. TERMINOLOGIA USADA NO DOMÍNIO DA HIGROTÉRMICA	5
2.3. TERMINOLOGIA USADA NESTE TRABALHO	41
3. PROGRAMMA DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA EM REGIME DINÂMICO PARA AVALIAÇÃO HIGROTÉRMICA DE FACHADAS	43
3.1. INTRODUÇÃO	43
3.2. PROGRAMA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO	43
3.2.1. PROGRAMA DE CÁLCULO UTILIZADO	43
3.2.2. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA	43
3.2.2.1. Ecrã principal	43
3.2.2.2. Barra de menus	45
3.2.3. UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA	46
3.2.3.1. Informação sobre o projecto e o caso	47
3.2.3.2. Configuração do elemento construtivo	47
3.2.3.3. Orientação, inclinação e altura	48
3.2.3.4. Coeficientes de transferência superficiais	49
3.2.3.5. Condições iniciais	49
3.2.3.6. Período de cálculo	50

3.2.3.7. Condições climáticas	50
3.2.3.8. Cálculo	52
3.2.3.8. Resultados	52

4. ESTUDO DE SENSIBILIDADE SOBRE O FENÓMENO DE DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA DE FACHADAS..... 55

4.1. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS OBJECTO DO PRESENTE ESTUDO	55
4.1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	55
4.1.2. CONFIGURAÇÃO DAS PAREDES	55
4.1.3. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS	56
4.2. ORGANIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES EFECTUADAS..... 57	57
4.2.1. PAREDE DUPLA.....	58
4.2.2. PAREDE ETICS	59
4.3. OBJECTO DE ESTUDO..... 60	60
4.4. RESULTADOS - PAREDE ETICS..... 60	60
4.4.1. INFLUÊNCIA DO CLIMA	60
4.4.1.1. Influência do clima nas condensações superficiais exteriores.....	61
4.4.1.2. Influência do clima no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS.....	61
4.4.1.3. Análise crítica dos resultados.....	62
4.4.2. INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO	62
4.4.2.1. Influência da orientação nas condensações superficiais exteriores	63
4.4.2.2. Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS	63
4.4.2.3. Análise crítica dos resultados.....	66
4.4.3. INFLUÊNCIA DA COR DA PAREDE	68
4.4.3.1. Influência da cor nas condensações superficiais exteriores	68
4.4.3.2. Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS	69
4.4.3.3. Análise crítica dos resultados.....	70
4.4.4. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO ISOLAMENTO TÉRMICO	71
4.4.4.1. Influência da espessura do isolamento térmico nas condensações superficiais exteriores	71
4.4.4.2. Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS	72
4.4.4.3. Análise crítica dos resultados.....	74
4.5. RESULTADOS - PAREDE DUPLA..... 74	74

4.5.1. INFLUÊNCIA DO CLIMA	74
4.5.1.1. Influência do clima nas condensações superficiais exteriores	74
4.5.1.2. Influência do clima no teor de humidade da camada exterior da parede dupla	75
4.5.1.3. Análise crítica dos resultados	75
4.5.2. INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO	76
4.5.2.1. Influência da orientação nas condensações superficiais exteriores	76
4.5.2.2. Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla.....	76
4.5.2.3. Análise crítica dos resultados	79
4.5.3. INFLUÊNCIA DA COR DA PAREDE.....	81
4.5.3.1. Influência da cor nas condensações superficiais exteriores.....	81
4.5.3.2. Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla.....	81
4.5.3.3. Análise crítica dos resultados	83
4.6. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS NOS DIFERENTES TIPOS DE PAREDES	84
4.6.1. CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS EXTERIORES	84
4.6.2. TEOR DE HUMIDADE NA CAMADA EXTERIOR	84
4.6.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS	86
4.7. ANÁLISE DE RISCO	86
5. CONCLUSÕES	91
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE DOS RESULTADOS	91
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	92
BIBLIOGRAFIA.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 – Degradação do aspecto exterior das fachadas da FEUP devido ao crescimento de microrganismos	1
Fig. 3.1 – Ecrã inicial (WUFI Pro 4.2).....	44
Fig. 3.2 – Barra de Menus (WUFI Pro 4.2)	46
Fig. 3.3 – Informações sobre o projecto e o caso (WUFI Pro 4.2).....	47
Fig. 3.4 – Configuração do elemento construtivo (WUFI Pro 4.2)	47
Fig. 3.5 – Selecção dos materiais (WUFI Pro 4.2).....	48
Fig. 3.6 – Orientação, inclinação e altura do elemento (WUFI Pro 4.2)	48
Fig. 3.7 – Coeficientes de transferência superficiais (WUFI Pro 4.2)	49
Fig. 3.8 – Condições iniciais (WUFI Pro 4.2)	50
Fig. 3.9 – Período de cálculo (WUFI Pro 4.2)	50
Fig. 3.10 – Dados climáticos exteriores (WUFI Pro 4.2)	51
Fig. 3.11 – Dados climáticos interiores (WUFI Pro 4.2)	51
Fig. 3.12 – Simulação a decorrer com animação (WUFI Pro 4.2)	52
Fig. 3.13 – Simulação a decorrer sem animação (WUFI Pro 4.2)	52
Fig. 3.14 – Teor de humidade total (WUFI Pro 4.2).....	53
Fig. 3.15 – Teor de humidade em cada camada do elemento construtivo (WUFI Pro 4.2).....	53
Fig. 3.16 – Variação da temperatura e da humidade relativa ao longo do tempo (WUFI Pro 4.2).....	53
Fig. 3.17 – Temperatura e humidade relativa (WUFI Pro 4.2)	54
Fig. 3.18 – Selecção dos dados a exportar (WUFI Pro 4.2)	54
Fig. 4.1 – Pormenor construtivo das paredes objecto de simulação	56
Fig. 4.2 – Influência do clima nas condensações superficiais exteriores na parede ETICS	61
Fig. 4.3 – Influência do clima no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS	62
Fig. 4.4 – Influência da orientação nas condensações superficiais exteriores na parede ETICS	63
Fig. 4.5 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Braga).....	64
Fig. 4.6 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Bragança).....	64
Fig. 4.7 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Lisboa).....	65
Fig. 4.8 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Porto).....	65

Fig. 4.9 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede ETICS - Norte)	66
Fig. 4.10 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede ETICS - Este).....	67
Fig. 4.11 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede ETICS - Sul).....	67
Fig. 4.12 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede ETICS - Oeste)	67
Fig. 4.13 – Influência da cor nas condensações superficiais exteriores na parede ETICS	68
Fig. 4.14 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Braga)	69
Fig. 4.15 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Bragança)	69
Fig. 4.16 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Lisboa)	70
Fig. 4.17 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Porto)	70
Fig. 4.18 – Influência da espessura do isolamento térmico nas condensações superficiais exteriores na parede ETICS	71
Fig. 4.19 – Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Braga)	72
Fig. 4.20 – Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Bragança)	72
Fig. 4.21 – Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Lisboa)	73
Fig. 4.22 – Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Porto)	73
Fig. 4.23 – Influência do clima nas condensações superficiais exteriores na parede dupla	74
Fig. 4.24 – Influência do clima no teor de humidade da camada exterior da parede dupla	75
Fig. 4.25 – Influência da orientação nas condensações superficiais exteriores na parede dupla	76
Fig. 4.26 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Braga)	77
Fig. 4.27 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Bragança)	77
Fig. 4.28 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Lisboa)	78
Fig. 4.29 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Porto)	78
Fig. 4.30 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede Dupla - Norte)	79
Fig. 4.31 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede Dupla - Este)	79

Fig. 4.32 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede Dupla - Sul).....	80
Fig. 4.33 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede Dupla - Oeste)	80
Fig. 4.34 – Influência da cor nas condensações superficiais exteriores na parede dupla.....	81
Fig. 4.35 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Braga)	82
Fig. 4.36 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Bragança)...	82
Fig. 4.37 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Lisboa)	83
Fig. 4.38 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Porto)	83
Fig. 4.39 – Influência da constituição da parede nas condensações superficiais exteriores	84
Fig. 4.40 – Influência da constituição da parede no teor de humidade da camada exterior (Braga)	85
Fig. 4.41 – Influência da constituição da parede no teor de humidade da camada exterior (Bragança).....	85
Fig. 4.42 – Influência da constituição da parede no teor de humidade da camada exterior (Lisboa) ...	85
Fig. 4.43 – Influência da constituição da parede no teor de humidade da camada exterior (Porto)	86

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Definição de conceitos e parâmetros utilizados no domínio da higrotérmica.....	2
Quadro 2.2 – Terminologia usada neste trabalho.....	41
Quadro 4.1 – Propriedades dos materiais constituintes das diferentes camadas da parede dupla.....	56
Quadro 4.2 – Propriedades dos materiais constituintes das diferentes camadas da parede ETICS.....	57
Quadro 4.3 – Coeficientes de absorção solar.....	57
Quadro 4.4 – Organização das simulações efectuadas para a parede dupla.....	58
Quadro 4.5 – Organização das simulações efectuadas para a parede ETICS	59
Quadro 4.6 – Teor de humidade de referência e teor de humidade máximo	60
Quadro 4.7 – Análise de risco para a parede dupla.....	87
Quadro 4.8 – Análise de risco para a parede ETICS.....	88

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- A - Coeficiente de absorção de água [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2})$]
c – Calor específico [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
Dw - Coeficiente de difusividade hídrica [m^2/s]
e – espessura [m]
ETICS – Sistema de isolamento térmico pelo exterior para paredes
FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
 $G_{s,d}$ – Radiação Solar difusa [W/m^2]
 $G_{s,g}$ – Radiação Solar global [W/m^2]
 G_t – Radiação de onda longa atmosférica [W/m^2]
R – Resistência térmica [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$]
Sd - Espessura da camada de ar de difusão equivalente [m]
Tse – Temperatura superficial exterior
U - Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
W - Teor em humidade [kg/m^3]
 $W_{\text{máx}}$ - Teor em humidade máximo [kg/m^3]
 λ – Condutibilidade térmica [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]
 μ - Factor de resistência à difusão do vapor de água [-]
 ξ – Porosidade [m^3/m^3]
 φ - Humidade Relativa [%]
 α – Coeficiente de absorção solar [-]
 ε - Emissividade [-]
 ρ – Densidade [kg/m^3]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Entre as diversas funções que as fachadas dos edifícios devem desempenhar, destaca-se a decorativa/arquitectónica. Esta é fortemente condicionada pela presença de água no elemento que potencia o aparecimento de microrganismos (algas e fungos) e consequente degradação do aspecto da fachada (figura 1.1).



Fig.1.1 – Degradação do aspecto exterior das fachadas da FEUP devido ao crescimento de microrganismos

O desenvolvimento de microrganismos (fungos e algas) está fortemente relacionado com o teor de humidade à superfície, que resulta da humedificação pela chuva incidente na fachada, da humedificação por condensação superficial e do processo de secagem. Estes três mecanismos são influenciados pela orientação, que altera a quantidade de radiação atmosférica e solar incidente na fachada, pela velocidade e direcção do vento e pelas propriedades físicas dos materiais que constituem o elemento (resistência térmica, absorção solar, absorção de água líquida, emissividade, inércia térmica, etc.) [1].

A humedecimento por condensação superficial ocorre sobretudo durante a noite em situações de céu limpo, produto da fachada atingir temperaturas abaixo do ponto de orvalho do ar em consequência da troca de radiação de onda longa entre a superfície exterior e a atmosfera [2].

Os fungos e as algas são plantas talófitas microscópicas que vivem na água ou em lugares húmidos e se desenvolvem muito rapidamente [3].

As algas crescem em ambientes cuja humidade relativa seja superior a 80% e as temperaturas estejam entre 0°C e 40°C, os fungos necessitam de humidades relativas superiores a 80% e nutrientes disponíveis (vegetação próxima) para se poderem desenvolver. [4]

As algas conseguem sobreviver em ambientes secos durante longos períodos sem sofrerem qualquer dano, e retomar o seu crescimento quando a humidade for suficiente. Significa isto, que por si só, o facto das paredes secarem durante o dia não é suficiente para impedir o seu crescimento. [5]

1.2. OBJECTIVOS DO TRABALHO

As principais fontes de humedecimento das fachadas são a condensação e a precipitação. Sendo a humidade um pré-requisito para o desenvolvimento biológico de microrganismos (algas e fungos), a identificação e análise dos mecanismos de humedecimento são perfeitamente justificados.

Nesse sentido, efectuou-se um estudo cujo objectivo é avaliar a ocorrência de condensações e estudar a variação do teor de humidade à superfície das fachadas. Assim, recorreu-se à simulação numérica utilizando um programa de cálculo automático, de modo a efectuar um estudo paramétrico.

Analysaram-se um total de 96 casos, variando e combinando diferentes parâmetros, nomeadamente, o tipo de solução construtiva, o clima onde se insere, a orientação do elemento, a cor da fachada e a espessura do isolamento térmico.

O propósito final do trabalho realizado, é perceber como a combinação destes factores afecta as condensações e o teor de humidade à superfície, e consequentemente a formação de microrganismos.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O documento em análise divide-se em 5 capítulos:

No Capítulo 1 esclarece-se a motivação subjacente à elaboração do trabalho, procede-se ao enquadramento do tema, e enumeram-se os principais aspectos a que se pretende dar resposta.

No Capítulo 2 em vez do convencional estado da arte optou-se por fazer um levantamento da terminologia usada no domínio da higrotérmica. Num primeiro ponto apresenta-se uma listagem de um conjunto de conceitos e parâmetros correntemente utilizados neste domínio, posteriormente identificam-se aqueles necessários à realização do presente trabalho.

No Capítulo 3 apresenta-se o programa de cálculo automático utilizado para realização das simulações numéricas e são explicados todos os passos necessários para a execução de uma simulação.

No Capítulo 4 apresentam-se os elementos construtivos em análise, assim como as propriedades dos materiais que os constituem. Em seguida descreve-se a estruturação/organização das simulações efectuadas e procede-se à análise dos resultados obtidos, é estudada a influência do tipo de solução construtiva, do clima, da orientação do elemento, da cor da parede e da espessura do isolamento

térmico nas condensações superficiais exteriores e no teor de humidade da camada exterior. No final do capítulo é apresentado um quadro comparativo entre as diversas soluções estudadas, de onde se pode retirar quais as soluções mais e menos propícias ao crescimento de microrganismos.

Finalmente, no Capítulo 5 coligem-se as principais conclusões do trabalho e apontam-se alguns aspectos a merecer desenvolvimentos futuros.

2

TERMINOLOGIA NO DOMÍNIO DA HIGROTÉRMICA

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A utilização de uma linguagem técnica precisa facilita o diálogo entre os intervenientes na construção, pelo que, e sendo este um domínio recente, considerou-se da maior importância definir a terminologia usada no âmbito da higrotérmica.

No quadro 2.1 deste trabalho apresenta-se uma listagem, ordenada por ordem alfabética, dos vários conceitos e parâmetros utilizados no domínio da higrotérmica, sendo apresentado também o símbolo e as unidades em que normalmente se expressam, bem como as respectivas referências bibliográficas.

Entendeu-se de maior utilidade fazer esta listagem em Inglês, uma vez que, a maioria da bibliografia e programas de simulação higrotérmica encontra-se, precisamente, nesta língua. E sendo o inglês uma língua universal, facilita o processo de comunicação entre os intervenientes no domínio.

No ponto 2.3 sintetiza-se a terminologia utilizada no presente estudo.

2.2. TERMINOLOGIA USADA NO DOMÍNIO DA HIGROTÉRMICA

No quadro 2.1 definem-se um conjunto de 129 conceitos e parâmetros comumente utilizados nos estudos de higrotérmica. Para a realização deste quadro consultaram-se 10 normas e 5 livros de referência neste domínio.

Quadro 2.1 – Definição de conceitos e parâmetros utilizados no domínio da higrotérmica

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
1	Absortance	Fraction of incident radiant energy absorbed.			[7], [10], [17]
	Spectral absorptance	Spectral radiant heat flow rate absorbed by a surface, $\Phi_{\lambda a}$, divided by the incident spectral radiant heat flow rate, assuming that the incident radiation is isotropic:	α_{λ}		

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		$\alpha_{\lambda} = \frac{\Phi_{\lambda a}}{\Phi_{\lambda i}}$ <p>Spectral directional absorptance - Spectral radiance absorbed by a surface, $L_{\Omega\lambda a}$, divided by the spectral directional incident radiance, $L_{\Omega\lambda i}$:</p> $\alpha_{\Omega\lambda} = \frac{L_{\Omega\lambda a}}{L_{\Omega\lambda i}}$ <p>Total absorptance - Radiant heat flow rate absorbed by a surface, Φ_a, divided by the incident radiant heat flow rate, Φ_i:</p> $\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i}$	$\alpha_{\Omega\lambda}$ α		
2	Air content	Air mass per volume-unit of material.	w_a	kg/m ³	[15]
3	Air exchange rate	<p>The ventilation rate is often expressed in terms of air exchange rates n or ach:</p> $n = \frac{R_a}{V} ; ach = \frac{R_a}{V}$ <p>Here, V (m³) is the inner air volume of the building. With $n = 1.0 \text{ h}^{-1}$, it means that an air volume equivalent to the building air volume is exchanged with fresh outdoor air each hour.</p>	n ach	s ⁻¹ or h ⁻¹	[5], [9]
4	Air flow rate	Volume of air transferred to or from a system divided by time.	R_a	m ³ /s	[8],[16]
5	Air flow rate density	Air flow rate divided by area.	r	m ³ /(m ² ·s)	[8]
6	Air permeability	The air permeability of a material at a point is defined as the ratio between the density of air flow rate at that point and the magnitude of temperature gradient in the direction of the flow.	k_a	kg/(m·Pa·s)	[14], [17]
7	Air permeance	The air permeance of specimen of material bound by two parallel surfaces is the ratio between the density of air flow rate and the magnitude of the pressure difference across the bounding surfaces, under	K_a	m ³ /(m ² ·s·Pa) kg/(m ² ·Pa·s)	[8], [14], [17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		steady state conditions. Quantity K_a defined by the following relation: $r = K_a(p_1 - p_2)$ where r is the density of air flow rate through a layer; p_1 and p_2 are the air pressures on each side of the layer. NOTE – The term K_a , for air performance includes the effect of the viscosity of air at constant temperature.			
8	Air ratio	Air mass per mass-unit of dry material.	X_a	% kg/kg	[15]
9	Air ratio (volumetric)	Volume of air per volume-unit of material.	Ψ_a	% m^3/m^3	[15]
10	Air resistance	Reciprocal of air permeance: $S = \frac{1}{K_a}; \quad r = \frac{p_1 - p_2}{S}$	S	$m^2 \cdot s \cdot Pa/m^3$	[8]
11	Air saturation degree	Ratio between the current air content and the maximum possible air content. May also be defined as the fraction of pores filled with air against those accessible for air.	S_a	%	[15]
12	Air transfer	Air flow induced by an air pressure difference, caused by wind, stack effect, or mechanical systems.	M_a	kg/s	[17]
13	Black body (full radiator or Plank radiator)	The black body is one that absorbs all the incident radiation for all wavelengths, directions and polarizations. At given temperature, for each wavelength it emits the maximum thermal energy (maximum spectral excitance). NOTE – Terms related to black body bear a superscript notation ($^{\circ}$).			[7], [15], [16]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
14	Black body spectral excitance	<p>It is expressed by Planck's law which relates M_{λ}° to wave length λ and to the absolute temperature of the black body:</p> $M_{\lambda}^{\circ} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp(C_2/\lambda \cdot T) - 1}$ <p>where</p> $C_1 = 2\pi h C_0^2 = 3,741 \times 10^{16} \text{ W/m}^2$ $C_2 = h C_0/k = 0,014 388 \text{ m} \cdot K$ <p>h and k are respectively, the Planck constant and the Boltzmann constant, C_0 is the speed of electromagnetic waves in vacuum.</p> <p>A curve $M_{\lambda}^{\circ} = f(\lambda)$ with a maximum at λ_m can be draw for each temperature. λ_m is a function of temperature, but the product $\lambda_m \cdot T$ is constant (Wien's "displacement law"):</p> $\lambda_m \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot K$ <p>M° and M_{λ}° are hemispherical terms.</p> <p>The emission of a black body is isotropic or diffuse, <i>i.e.</i> L° and L_{λ}° are independent of the direction (Lambert's law).</p> <p>The total and the spectral radiance of the black body are expressed by:</p> $L^{\circ} = \frac{M^{\circ}}{\pi}$ $L_{\lambda}^{\circ} = \frac{M_{\lambda}^{\circ}}{\pi}$	M_{λ}°	W/m^3 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$	[7]
15	Black body total excitance	<p>It is expressed by the Stefan-Boltzmann law:</p> $M^{\circ} = \sigma T^4$ <p>where</p> <p>σ is equal to $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$;</p> <p>$T$ is the absolute temperature of black body.</p>	M°	W/m^2	[7]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
16	Critical surface humidity	Relative humidity at the surface that leads to deterioration of the surface, specifically mould growth.			[10]
17	Density	Mass divided by volume. NOTE - For porous materials the density of the solid material and the bulk density can be identified, and for granular materials also the density of the grains.	ρ	kg/m ³	[6], [12], [15]
18	Density of dry material	Density of a building material is defined as the mass of 1 m ³ of the dry material. For practical reasons, the phrase “dry material” does not necessarily mean absolutely dry material. For each class of material, such as stony, wooden or plastic, it may be necessary to adopt prescribed standard conditions; for example for wood this may correspond to drying at 105 °C until the change in mass is within 1% during two successive daily weighings.	ρ_0	kg/m ³	[14]
19	Dewpoint temperature	Temperature to which air must be cooled to become saturated with respect to water vapour.	θ_d	°C	[9], [17]
20	Dry bulb temperature	Air temperature measured in a thermometer screen or with similar shielding from solar radiation.	θ	°C	[9]
21	Emission	Process in which heat (from molecular agitation in gases or atomic agitation in solids, etc.) is transformed into electromagnetic waves.			[7]
22	Emissivity	The evaluation of the emission properties of real materials is made relative to the black body placed in			[7], [16], [17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		<p>the same conditions of temperature. In general, these properties depend on the nature and surface aspect of the body and vary with wavelength, direction of emission and surface temperature.</p> <p>Spectral directional emissivity - Spectral radiance, $L_{\Omega\lambda}$, of the considered surface divided by the spectral radiance emitted by the black body, $L_{\Omega\lambda}^{\circ}$, at the same temperature:</p> $\varepsilon_{\Omega\lambda} = \frac{L_{\Omega\lambda}}{L_{\Omega\lambda}^{\circ}}$ <p>Spectral hemispherical emissivity - Spectral excitance, M_{λ}, of the considered surface divided by the spectral excitance of black body, M_{λ}°, at the same temperature:</p> $\varepsilon_{\lambda} = \frac{M_{\lambda}}{M_{\lambda}^{\circ}}$ <p>Total directional emissivity - Total radiance, L_{Ω}, emitted by the considered surface, divided by total radiance emitted by the black body, L_{Ω}°, at the same temperature:</p> $\varepsilon_{\Omega} = \frac{L_{\Omega}}{L_{\Omega}^{\circ}}$ <p>Total hemispherical emissivity - Total hemispherical excitance, M, of the considered surface divided by the total hemispherical excitance of the black body, M°, at the same temperature:</p> $\varepsilon = \frac{M}{M^{\circ}}$	$\varepsilon_{\Omega\lambda}$		
23	Enthalpy	<p>Is a important thermodynamic property that includes internal energy and flow work and is defined as</p> $h = u + pv$ <p>where u is the internal energy per unit mass.</p>	h	kJ/kg	[17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
24	Entropy	Measures the molecular disorder of a system. The more mixed system, the greater its entropy; an orderly or unmixed configuration is one of low entropy.			[17]
25	Gas diffusion coefficient	Rate of gas diffusion through a material NOTE - An alternative form of definition is in use where “amount of substance” replaces “mass” and with the corresponding units written in terms of the unit mole instead of kilogram.	D	m^2/s	[8]
26	Gas flow rate density	Mass of gas passing through a material as a function of time and area of surface, under specified conditions. NOTES 1. For the case of gas transfer through a material bound by parallel surfaces, this is often referred to as “gas transmission rate”. 2. An alternative form of definition is in use where “amount of substance” replaces “mass” and with the corresponding units written in terms of the unit mole instead of kilogram.	M	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	[8]
27	Gas permeability	Product of the gas permeance and the perpendicular distance between the surfaces of the material under consideration. NOTES 1. This is only quantifiable for heterogeneous materials and systems. 2. An alternative form of definition is in use where “amount of substance” replaces “mass” and with the corresponding units written in terms of the unit mole instead of kilogram.	P	$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	[8]
28	Gas permeance	Mass of gas passing through a	Q	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	[8]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		material as a function of time, area of surface difference. NOTE - An alternative form of definition is in use where “amount of substance” replaces “mass” and with the corresponding units written in terms of the unit mole instead of kilogram.			
29	Gas solubility	Mass of permeant gas as a function of mass of permeated material under a specified pressure of permeant. NOTE - An alternative form of definition is in use where “amount of substance” replaces “mass” and with the corresponding units written in terms of the unit mole instead of kilogram.	c	kg/kg	[8]
30	Gas solubility coefficient	Gas solubility divided by the permeant pressure. NOTES 1. The relationship $S = c/p$ is Henry's Law, where c is a function of the permeant gas, the permeated material and temperature. 2. An alternative form of definition is in use where “amount of substance” replaces “mass” and with the corresponding units written in terms of the unit mole instead of kilogram.	S	Pa^{-1}	[8]
31	Grey body	Thermal radiator whose hemispherical or directional spectral emissivity is independent of wavelength.			[7], [15]
32	Heat	Quantity which indicates the energy in the form of heat. Because energy is a scalar, heat is also a scalar.	Q	J	[5], [15], [17]
33	Heat capacity	Quantity defined by the equation: $C = \frac{dQ}{dT}$ NOTE – When the temperature of a system is increased by dT as a result	C	J/K	[5]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		of the addition of a small quantity of heat dQ , the quantity dQ/dT is the heat capacity.			
34	Heat flow rate	Quantity of heat transferred to or from a system divided by time: $\Phi = \frac{dQ}{dt}$	Φ	W	[5], [7], [8], [16]
35	Heat flow rate density	The density of heat flow rate in a material at a point is expressed as the quantity of heat transported in unit time across unit area of a plane that includes the point and is perpendicular to the direction of the transport. Heat flow rate divided by area: $q = \frac{d\Phi}{dA}$ NOTE – The word “density” should be replaced by “surface density” when it may be confused with “linear density”.	q	W/m ²	[5], [7], [15], [16], [17]
36	Heat flow rate linear density	Heat flow rate divided by length: $q_l = \frac{d\Phi}{dl}$	q_l	W/m	[5]
37	Heat-transfer	Transmission of energy by thermal conduction, thermal convection or thermal radiation, or a combination of these. Conduction – Conduction refers to the energy transferred when vibrating atoms collide and free electrons move collectively. Heat is transferred that way between solids at different temperature in contact with each other and between points at a different temperature within the same solid. The mode also intervenes when heat is transferred in gases and liquids and in the contacts between gases and liquids at one side at the other. Conduction always occurs from points at a higher temperature to points at a lower temperature (2 nd			[5], [7], [10], [15], [16], [17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		<p>law of thermodynamics). The mode needs a medium. No observable macroscopic movement is linked to it.</p> <p>Convection - Convection stands for the displacement of molecule groups at a different temperature. Convection is by nature a consequence of movement (transfer of enthalpy) and occurs in a pronounced way close to the contact between liquids and gases at one side at solids at other. We distinguish forced, natural and mixed convection depending on whether or not the movement is caused by an external force, a difference in fluid density or both. In forced convection, work exerted by an exterior source may compel heat to flow from low to high temperatures. Convection needs a medium. Actually, in liquids and gases, convection always includes conduction and even in convection mode, heat transfer between molecules occurs by conduction.</p> <p>Radiation – Radiation refers to heat transfer, caused by the emission and absorption of electromagnetic waves. At a temperature above 0 K, each surface emits electromagnetic energy. Between surfaces at a different temperature, that results in heat exchanges. Heat transfer through radiation does not need a medium. On the contrary, it is least hindered in vacuum and follows physical laws which diverge strongly from conduction and convection.</p>			
38	Heat transfer (convective surface film coefficient)	<p>Quantify h_c defined by the following relation:</p> $q_c = h_c \cdot (T_s - T_a)$ <p>where $T_s - T_a$ is the temperature difference, between the surface and</p>	h_c	W/(m ² ·K)	[15], [16], [17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		the ambient air.			
39	Heat transfer (radiative surface film coefficient)	<p>Quantify h_r defined by the following relation:</p> $q_r = h_r \cdot (\theta_{sl} - \theta_r)$ <p>where θ_{sl} is the temperature of surface l while θ_r is the radiant temperature of the environment as seen by the surface.</p>	h_r	W/(m ² ·K)	[15], [16], [17]
40	Heat transfer (surface film coefficient)	<p>Density of heat flow rate at a surface in steady state divided by the temperature difference between that surface surroundings:</p> $h = \frac{q}{T_s - T_a}$ <p>NOTE – This assumes the definition of the surface through which the heat is transferred, the temperature of the surface, T_s, and the ambient temperature, T_a (with reference to free or forced convection and radiation surrounding surfaces, etc.).</p>	h	W/(m ² ·K)	[5], [15], [16], [17]
41	Humidity by mass	<p>Mass of water vapour divided by the mass of dry air.</p> <p>NOTE - At saturation, the notation x_{sat} is used.</p>	x	kg/kg	[8]
42	Humidity by volume	<p>Mass of water vapour divided by the volume of the gaseous mixture.</p> <p>NOTES</p> <p>1. Humidity by volume is the same as the partial mass density of water vapour, ρ_v.</p> <p>2. At saturation, the notations v_{sat} and $\rho_{v,sat}$ are used.</p>	v	kg/m ³	[8]
43	Internal moisture excess	<p>Rate of moisture production in a space divided by the air change rate in the volume of the space:</p> $\Delta v = v_i - v_e = G/(n V)$	Δv	kg/m ³	[10]
44	Isotropically emitting body	Thermal radiator whose total or spectral emissivity is independent of			[7]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		the direction.			
45	Isotropically emitting grey body	<p>Thermal radiator whose emissivity is independent of both wavelength and direction:</p> $\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_{\Omega\lambda} = \varepsilon_{\Omega} = \varepsilon$ <p>These emissivities may vary with temperature: $\varepsilon(T)$</p> <p>NOTE – The hypothesis of grey surfaces and isotropic emission, with an emissivity independent of wavelength and direction is generally accepted in computations. In this case the different emissivities of a surface reduce to a single parameter, ε.</p>			[7]
46	Longwave (terrestrial) radiation	<p>Radiation with wavelength greater than 3 μm from surfaces at the ground and from the atmosphere.</p> <p>NOTE – The exchange of longwave radiation occurs permanently between buildings, the ground and the atmosphere at temperatures between 240 K and 340 K.</p>	G_t		[9]
47	Luminosity	<p>The ratio between the radiant heat flow rate in a direction ϕ and the apparent surface, seen from that direction. L is a vector.</p> <p>The luminosity describes how a receiving surface sees an emitting surface.</p> $\frac{d^2\phi_R}{\cos(\phi) dA d\omega}$	L	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{rad})$	[15]
48	Mass flow rate	The quantity of mass, which migrates per unit of time. Just as the quantity of mass, it is a scalar.	G	kg/s	[15]
49	Mass flow rate density	The quantity of mass, which flows per unit of time through a unit surface. Components g_x, g_y, g_z in a Cartesian co-ordinate system, g_R, g_θ, g_ϕ in a polar co-ordinate system	g	$\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$	[15]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
50	Mass transfer	Transmission of mass (especially moisture or air) by various mechanisms.			[8]
51	Moisture	Water in gaseous, liquid or solid phase.			[8]
52	Moisture content	<p>Many building materials are porous bodies. In these porous bodies the moisture content may vary between the dry state referred to above and fully saturated state when the open pores are completely filled with water. The moisture content that corresponds to the saturation state is called the maximum moisture content (symbols: w_{max} or u_{max} or ψ_{max}). Experimentally, a building material absorbs moisture to the maximum moisture content level. This moisture content is referred to as capillary saturation moisture content (symbols: w_{cap} or u_{cap} or ψ_{cap}). Between the dry and saturated states, the moisture content varies with the water vapour pressure of the surroundings in a non-linear way. The relation between vapour pressure (or more often relative humidity, RH) of the surroundings and the moisture content in the material is called sorption curve. In the lower humidity range, the moisture is in an adsorbed state. This range of RH until 98% is called the hygroscopic range of a material. At the higher end of the adsorption range, moisture from the surroundings begins level. This continues until a critical moisture content (symbols: w_{cr} or u_{cr} or ψ_{cr}) is established. Thus critical moisture content can be defined as the lowest moisture content necessary to initiate moisture transport in the liquid phase. Below this level, due to macroscopic discontinuity of the liquid, moisture is</p>			[8], [10], [14], [15], [17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		transported only in the vapour phase (and partly by surface movement in the adsorbed layer).			
		Moisture content of a building material is defined as:			
		i) Moisture content mass by volume - mass of evaporable water divided by volume of dry material.	w	kg/m^3	
		ii) Moisture content mass by mass - mass of evaporable water divided by dry mass of material.	u	kg/kg	
		iii) Moisture content volume by volume - volume of evaporable water divided by volume of dry material.	ψ	m^3/m^3	
		The definition (i) is generally used with reference to all building materials, while it is a common practice to use (ii) with reference to denser building materials such as concrete, brick and wood products and to use (iii) with reference to lighter materials such as insulation.			
		NOTE – The method of evaporating water from a moist material shall be stated.			
53	Moisture differential capacity	Quantity defined by the following relation: $\xi = \frac{dw}{d\varphi}$ where - w is the moisture content mass by volume; - φ is the relative humidity. NOTE – This value indicates the tangent of the hygroscopic sorption curve.	ξ	kg/m^3	[8]
54	Moisture diffusivity	The moisture diffusivity in the hygroscopic range is the ratio between vapour permeability and volumetric moisture capacity. Outside that range it is the ratio between	D_w	m^2/s	[8], [14]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		<p>moisture permeability and volumetric moisture capacity.</p> <p>Quantity D_w defined by the following relation:</p> $\vec{g} = -D_w \text{ grad } w$ <p>where</p> <p>\vec{g} is the vector density of moisture flow rate;</p> <p>w is the moisture content mass per volume.</p> <p>NOTE – Moisture diffusivity and moisture conductivity are principally used to describe moisture transfer in the liquid phase, but they include also the gaseous phase.</p>			
55	Moisture flow rate	<p>Mass of moisture transferred to or from a system divided by time.</p> <p>NOTE – Moisture flow rate denotes a flow of water vapour, a flow of liquid water, or both phases together.</p>	G	kg/s	[8], [16]
56	Moisture flow rate density	<p>The density of moisture flow rate in a material at a point is defined as the mass of moisture transported in unit time across unit area of a plane that includes the point and is perpendicular to the direction of the transport.</p> <p>Moisture flow rate divided by area.</p> <p>NOTE – Density of moisture flow rate denotes density of a flow water vapour, of liquid water, or both.</p>	g	kg/(m ² ·s)	[8], [16], [14]
57	Moisture ratio	Mass of moisture per mass-unit of dry material.	X	% kg/kg	[15]
58	Moisture ratio (volumetric)	Volume of moisture per volume-unit of material.	Ψ	% m ³ /m ³	[15], [17]
59	Moisture saturation degree	Relationship between the moisture content present and the maximum moisture content possible. May also be defined as the fraction of open	S	%	[8], [14], [15]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		pores filled with moisture against those accessible for moisture.			
60	Moisture transfer	<p>Moisture can be transported both in vapour and liquid phase. The moisture transfer is caused by diffusion, convection, capillary suction, wind pressure and gravity (water pressure).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diffusion: is a process of equalization. A difference in vapour concentration results in a net transfer of water molecules to the region with the lowest concentration. - Convection: is caused by the fact that air flows can both carry water vapour molecules, water droplets or snow crystals. - Capillary suction: is the result of differences in pore water pressure. - Wind pressure: can force liquid water in to cracks of the building envelope. - Gravity forces: forces water to flow downwards, as an example, water might flow into the building envelope through cracks from a puddle of standing water on a roof surface. The effect of gravity can also create water pressure, for instance in water saturated soils. The pressure can force the water into a basement wall. 			[16]
61	Open porosity	Volume of open pores per volume-unit material. What fraction of the porous system is "open" depends on the fluid migrating through the material. In general, open porosity is smaller than total porosity.	Ψ_o	% m^3/m^3	[15]
62	Partial water vapour pressure	<p>Partial pressure of water vapour in a gaseous mixture.</p> <p>NOTE - At saturation, the notation p_{sat} is used.</p>	p	Pa	[8], [10], [15]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
63	Permeability of a porous medium	<p>Quantity k defined by the following relation:</p> $\vec{r} = \frac{k}{\eta} \text{grad } p$ <p>where</p> <p>$-\vec{r}$ is the vector density of air flow rate in a porous medium;</p> <p>$-p$ is the fluid pressure;</p> <p>$-\eta$ is the dynamic viscosity of the fluid at a constant temperature.</p>	k	m^2	[8]
64	Porosity (Total)	<p>Total volume of the voids within a porous medium divided by the total volume of the medium.</p> <p>NOTE - Porosity can be defined by the expression:</p> $\xi = 1 - \frac{\rho - \rho_g}{\rho_s - \rho_g}$ <p>Where,</p> <ul style="list-style-type: none"> - ρ is the apparent density of the material; - ρ_s is the density of the solid matrix; - ρ_g is the density of the gas in the voids. <p>The apparent porosity is determined by some experimental method.</p>	ξ	% m^3/m^3	[6],[15]
65	Porosity (local)	<p>Porosity at the point P within a body when the volume of an element enclosing the point is small with respect to the entire body but large enough to evaluate a meaningful average.</p>	ξ_p		[6]
66	Quantity of mass	<p>Quantity, which indicates how much mass is present or migrates. The quantity of mass is a scalar.</p>	M	kg	[15]
67	Radiation intensity	<p>The radiant energy, which is emitted in a specific direction. I is a vector. $D\omega$ is the elementary solid angle in the direction considered.</p>	I	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{rad})$	[15]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		$\frac{dq_R}{d\omega}$ of $\frac{d^2\phi_R}{dA d\omega}$			
68	Reference year	Year of hourly values of appropriate meteorological parameters representative of the long term climate.			[9]
69	Relative humidity	Actual vapour pressure divided by vapour pressure at saturation at the same temperature: $\varphi = \frac{p}{p_{sat}}$ NOTE - Assuming an ideal gas behaviour: $\varphi = \frac{v}{v_{sat}}$	φ HR		[8], [9], [10], [16]
70	Roughness coefficient	Factor which allows for the modification of the wind speed by the roughness of the terrain upwind of a wall	C_R		[9]
71	Semi-transparent plane layer	Semi-transparent layer of thickness d , limited by two infinite, plan and parallel boundaries of given thermal and optical characteristics.			[7]
72	Solar irradiance	Radiation power per area generated by the reception of solar radiation on a plane of any tilt and orientation. The following special quantities can be distinguished according to the conditions of reception: -Global solar irradiance – irradiance generated by reception of solar radiation from the full hemisphere on a horizontal plane. NOTE – According to the following definitions it is equal to the reception of direct solar and diffuse solar radiation on a horizontal plane. In the case of tilted planes a portion of the ground reflected global solar radiation is also received. -Direct solar irradiance – irradiance generated by the reception of solar	G_s $G_{s,g}$ $G_{s,b}$	W/m^2 W/m^2 W/m^2	[9]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		radiation on a horizontal plane from a conical angle which surrounds concentrically the apparent solar disk.			
		NOTES			
		1. The horizontal component of the direct solar irradiance is a part of the global solar irradiance.			
		2. Any component of the direct solar irradiance is generated nearly exclusively from unscattered solar radiation.			
		3. The diameter of the apparent solar disk corresponds to about 0,5 degrees; for technical reasons the available radiometers receive the direct solar irradiance from solid angles around the solar disk which correspond mostly to field-of-view angles between 3° and 6°.			
		- Beam solar irradiance – direct irradiance intercepted by a surface perpendicular to the incidence of the beam.	$G_{s,b}$	W/m^2	
		- Diffuse solar irradiance – irradiance generated by the reception of scattered solar radiation from the full sky hemisphere on a horizontal plane, with the exception of that solid angle which is used to measured the direct solar irradiance.	$G_{s,d}$	W/m^2	
		NOTES			
		1. Practical measurement requires a sun following disk, which permanently shades the receiver of the radiometer with a “field of shade” angle which equals the field of view angle used for measuring direct solar irradiance. This allows the global irradiance to be calculated as the sum of diffuse solar and horizontal component of the direct solar			

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		<p>irradiance.</p> <p>2. The use of a ring to shade the sun along its daily path requires an equation to correct for the corresponding losses of diffuse solar irradiance.</p> <p>-Reflected solar irradiance – irradiance generated by the reception of the rising reflected global radiation on a downward looking horizontal plane.</p> <p>NOTES</p> <p>1. The ratio of reflected solar and global solar irradiance is called albedo.</p> <p>2. Part of the reflected global solar radiation is received on any tilted plane.</p>			
73	Solar Transmittance	<p>The solar heat flow rate transparent and opaque parts as:</p> $q_s = g E_{ST}$ <p>where E_{ST} is the total solar radiation incident on the outside surface and q_s is the transmitted heat flow rate, both in W/m^2. The factor g is called the solar transmittance. That factor includes the direct and indirect solar gains. The direct gains are given by $q_{sd} = \tau_s E_{ST}$, where τ_s is the total shortwave transmissivity of the part. If opaque, transmissivity is zero. Opaque parts lack direct gains. For a transparent part the shortwave transmissivity differs from zero, giving direct gains. The indirects gains occur because opaque and transparent parts absorb a fraction of the incoming sunlight, warm up, conduct the absorbed radiation as heat to the inside and dissipate it there by convection and longwave radiation. For simple transparent</p>	g		[15]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		parts such as single and double glass, the indirect gains are quite easily estimated.			
74	Specific heat capacity	<p>Specific heat capacity of a material is defined as the heat (energy) required to increase the temperature of unit mass of the material by 1 K.</p> <p>The mass in the above definition refers to dry mass. If the material is wet, the specific heat capacity c is calculated as:</p> $c = c_0 + 4187 \cdot (w/\rho_0)$ <p>The above relation assumes that the specific heat capacity of water is a constant equal to 4187 J/(kg·K).</p>	c	J/(kg·K)	[5], [14], [15], [17]
75	Specific moisture capacity	<p>Specific moisture capacity of a material is defined as the increase in the mass of moisture in unit mass of the material that follows unit increase in vapour pressure or suction.</p> <p>If the vapour pressure is expressed in terms of relative humidity the unit of this quantity changes to kg/kg and the symbol ξ_ϕ should be used.</p>	ξ	kg/(kg·Pa)	[14], [17]
76	Steady state	Condition for which all relevant parameters do not vary with time.			[6]
77	Suction	Pressure difference between the pore water pressure and the ambient total pressure.	s	Pa	[8],[10]
78	Suction curve	<p>Relation between the equalized moisture content in a porous material and the suction (negative pore pressure) in the pore water.</p> <p>NOTE - Generally there are curves for sorption and for desorption. Theoretically the suction curve covers the whole moisture range, from absolute dryness to full saturation.</p>			[8]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
79	Surface film resistance	The reciprocal of the heat transfer film coefficient. (Subscripts <i>i</i> and <i>e</i> often denote inside and outside surface film resistances and conductances, respectively).	R_i or R_e	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$	[17]
80	Surface reflectance	The fraction of the radiant flux falling on a surface that is reflected.	ρ		[17]
81	Temperature factor	<p>The temperature factor is given by</p> f_{hi} <p>:</p> $f_{hi} = \frac{\theta_{s,min} - \theta_{ref,e}}{\theta_{ref,i} - \theta_{ref,e}}$ <p>where $\theta_{ref,i}$ is the reference temperature inside, $\theta_{ref,e}$ the reference temperature outside and $\theta_{s,min}$ the lowest inside surface temperature on the thermal bridge. The suffix <i>hi</i> indicates that the local surface film coefficient for the coldest point on the thermal bridge has to be used in the calculation.</p>	f_{hi}		[15]
82	Temperature factor at the internal surface	<p>Difference between the temperature of the internal surface and the external air temperature, divided by the difference between the internal air temperature and the external air temperature, calculated with a surface resistance at the internal surface R_{si}:</p> $f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$ <p>NOTE - Methods of calculating the temperature factor in complex constructions are given in ISO 10211-1.</p>	f_{Rsi}		[10]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
83	Thermal Bridges	<p>The term thermal bridge refers to spots on the envelope where heat transfer develops in two or three dimensions (the word envelope indicates the entirety of floors, façades, windows and roofs, which separate the inside from grade and the inside from all adjoining, unheated volumes). The name may be taken literally: not only do these spots experience larger heat losses and gains than on the adjacent elements during the heating season. We distinguish two types of thermal bridges:</p> <p>-Geometric thermal bridges- a consequence of the three dimensional character of a building: angles and corners, inner and outer reveals around windows, etc.</p> <p>-Structural thermal bridges – The consequence of structural decisions. Examples: steel or concrete girders and columns penetrate the envelope, discontinuities in the thermal insulation. Structural thermal bridges could be there for reasons of structural integrity. Take a balcony. The cantilever moment be balanced without continuity with the floor inside.</p>			[15], [16]
84	Thermal conductance	<p>Reciprocal of thermal resistance from surface to surface under conditions of uniform density of heat flow rate:</p> $\Lambda = \frac{1}{R}$ <p>NOTE - “Thermal conductance” should be replaced by “surface thermal conductance” when it may be confused with “linear thermal conductance”.</p>	Λ	W/(m ² ·K)	[5], [16], [17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
85	Thermal conductance (linear)	<p>Reciprocal of linear thermal resistance from surface to surface under conditions of uniform linear density of heat flow rate:</p> $\Lambda_l = \frac{1}{R_l}$	Λ_l	W/(m·K)	[5]
86	Thermal conductivity	<p>The thermal conductivity of a material at a point is defined as the ratio between the density of heat flow rate and the magnitude of the thermal gradient at the point in the direction of the flow.</p> <p>The definition for thermal conductivity stems from Fourier equation for heat conduction:</p> $\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T$ <p>But in a dry building material the heat transfer is a resultant of conduction, radiation from the surfaces of the pores and convection within the pores and in a practical definition of thermal conductivity all three modes of heat transfer are included. If the material is wet, heat transferred by moisture in the capillaries and the enthalpy changes that accompany phase transitions also add to the density of heat flow rate.</p>	λ	W/(m·K)	[5]
87	Thermal conductivity (radiative) or radiativity	<p>Quantity defined by the following relation:</p> $\vec{q}_r = -\lambda_r \text{grad } T$ <p>For a plane layer the relationship may be rewritten in the following way:</p> $q_r = -\lambda_r \frac{\partial T}{\partial n}$ <p>where n is the normal to the layer.</p> <p>Characterizes an insulating material in relation with the radiation heat transfer only, it is expressed by</p> $\lambda_r = \left(\frac{\Delta d}{\Delta R_r} \right)_{d > d_\infty}$	λ_r	W/(m·K)	[7]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		<p>where R_r can be seen as a thermal resistance due to heat transfer by radiation alone and where d_∞ is as shown in figure 4, ISO 9288.</p> <p>NOTE – It may be derived from the measurement of q, d and ΔT under vacuum when the conduction heat transfer in the solid matrix is negligible.</p>			
88	Thermal diffusion coefficient of moisture	<p>Quantity D_T defined by the following relation:</p> $\vec{g} = -D_T \text{ grad } T$ <p>where</p> <p>\vec{g} is the vector density of moisture flow rate;</p> <p>T is the temperature.</p> <p>NOTE – The thermal diffusion coefficient is depended on how the flow related to moisture gradients is described.</p>	D_T	$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{K})$	[8], [14]
89	Thermal diffusivity	<p>The thermal diffusivity at a point in a material is defined as the ratio between the thermal conductivity at that point and the volumetric heat capacity of the material.</p> <p>Thermal conductivity divided by the density and the specific heat capacity:</p> $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ <p>Notes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. For fluids the appropriate specific heat capacity is c_p. 2. The definition assumes that the medium is homogeneous and opaque. 3. The thermal diffusivity is relevant to the non-steady state and may be measured directly or calculated from separately measured quantities by 	a	m^2/s	[5], [14], [15], [16], [17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		the above formula.			
		4. Among others, thermal diffusivity accounts for the response of the temperature at a location inside a material to change a temperature at the surface. The higher the thermal diffusivity of the material, the more sensitive the interior temperature is to changes of the surface temperature.			
90	Thermal effusivity	<p>Square root of the product of thermal conductivity, density and specific heat capacity:</p> $b = \sqrt{\lambda \rho c}$ <p>Notes</p> <p>1. For fluids the appropriate specific heat capacity is c_p.</p> <p>2. This property is relevant to the non-steady state. It may be measured or calculated from separately measured quantities by the above formula. Among others, thermal effusivity accounts for the response of a surface temperature to change of the density of heat flow rate at the surface. The lower thermal effusivity of the material the more sensitive the surface temperature is to changes of heat flow at the surface.</p>	b	$\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{1/2})$	[5], [16]
91	Thermal moisture permeability	<p>The thermal moisture permeability of a material at a point is defined as the ratio between the density of moisture flow rate at that point and the magnitude of temperature gradient in the direction of the transport in the absence of any moisture content gradient.</p> <p>The above definition for thermal moisture permeability stems from the transport equation:</p> $\vec{g} = -k_T \cdot \text{grad } T$	k_T	$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s})$	[14]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
(at uniform moisture content)					
92	Thermal permeance	The inverse of the thermal resistance. The thermal permeance tells how much heat per unit of time and unit of surface passes through a single layered wall at a temperature difference of 1 K between both wall surfaces.	P	W/(m ² ·K)	[15]
93	Thermal radiation	<p>Electromagnetic radiation emitted at the surface of an opaque body or inside an element of a semi transparent volume.</p> <p>The thermal radiation is governed by the temperature of the emitting body and its radiative characteristics. It is interesting from a thermal viewpoint when the wavelength range falls between 0,1 µm and 100 µm (see figure 1 ISO 9288).</p>			[7]
94	Thermal resistance	<p>Temperature difference divided by the density of heat flow rate in the steady state condition:</p> $R = \frac{T_1 - T_2}{q}$ <p>NOTES:</p> <p>1. For a plane layer for which the concept of thermal conductivity applies, and when this property is constant or linear with temperature:</p> $R = \frac{d}{\lambda}$ <p>where <i>d</i> is a thickness of the layer.</p> <p>These definitions assume the definition of two reference temperatures, T₁ and T₂, and the area through which the density of heat flow rate is uniform.</p> <p>Thermal resistance can be related either to the material, structure or surface. If either T₁ or T₂ is not the temperature of a solid surface, but that of a fluid, a reference</p>	R	m ² ·KW	[5], [14],[15], [16],[17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		<p>temperature must be defined in each specific case (with reference to free or forced convection and radiation from surrounding surfaces, etc.).</p> <p>When quoting values of thermal resistance, T_1 and T_2 must be stated.</p> <p>2. "Thermal resistance" should be replaced by "surface thermal resistance" when it may be confused with "linear thermal resistance"</p>			
95	Thermal resistance (linear)	<p>Temperature difference divided by the linear density of heat flow rate in the steady state condition:</p> $R_l = \frac{T_1 - T_2}{q_l}$ <p>NOTE – This assumes the definition of two reference temperatures, T_1 and T_2, and the length along which the linear density of heat flow rate is uniform.</p> <p>If within the system either T_1 or T_2 is not the temperature of a solid surface, but that of a fluid, a reference temperature must be defined in each specific case (with reference to free or forced convection and radiation from surrounding surfaces, etc.).</p> <p>When quoting values of linear thermal resistance, T_1 and T_2 must be stated.</p>	R_l	m·K/W	[5]
96	Thermal resistivity	<p>Quantify defined by the following relation:</p> $\text{grad } T = -r\vec{q}$ <p>NOTE – A rigorous treatment of the concept of thermal resistivity is given in the ISO 7345 annex.</p>	r	m·K/W	[5]; [17]
97	Thermal transmissivity	<p>Characterizes an insulating material in relation with the pure conduction heat transfer; similarly to λ_r, it is expressed by</p>	λ_t	W/(m·K)	[7]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		$\lambda_t = \left(\frac{\Delta d}{\Delta R_{cd}} \right)_{d > d_{\infty}}$ <p>where R is the thermal resistance due to combined conduction and radiation heat transfer (see ISO 73445 : 1987, 2.7); d_{∞} is as shown in figure 4 ISO 9288 : 1989.</p> <p>NOTE – According to the preceding definitions, the thermal transmissivity can also be written as</p> $\lambda_t = \lambda_{cd} + \lambda_r$ <p>Thermal transmissivity can be seen as the limit reached by the transfer factor in thick layers where combined conduction and radiation heat transferred are considered.</p> <p>This quantity is sometimes called “apparent”, “equivalent”, or “effective” thermal conductivity (see ISO 7345:1987, annex). See figure 4 ISO 9288:1989.</p>			
98	Thermal transmissivity of a moist material	<p>Intrinsic material property dependent upon moisture content and temperature but not on testing conditions. It is often referred to elsewhere as thermal conductivity of a moist material. It is defined for a moist material by the following differential equation during steady-state conditions:</p> $q_m = -\lambda^* \cdot \frac{dT}{dx}$ <p>when moisture distribution within the material is in the steady-state and there is no liquid movement within the material.</p> <p>NOTE - The transmissivity, either for dry materials (see ISO 9288, ISO 8301 and ISO 8302) or for moist materials (see ISO 10051) expresses a material property that has the dimension of a thermal conductivity</p>	λ^*	W/(m·K)	[13]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		but that can replace it only in some expressions (in most cases those related to steady-state heat and mass transfer in a slab). Usually transmissivity cannot replace conductivity in most two- and three-dimensional flow patterns, in the expression of thermal diffusivity and non steady-state problems. Due to the complexity of heat and mass transfer problems, transmissivity can seldom be determined through one single experiment, rather a procedure or particular testing conditions are required, e.g. tests at high thicknesses for the determination of the thermal transmissivity and equilibrium of moisture distribution and absence of moisture flow for the determination of thermal transmissivity of a moist material (non steady-state methods are usually excluded from the determination of transmissivity).			
99	Thermal transmittance	Heat flow rate in steady state divided by area and by the temperature difference between the surroundings on each side of a system: $U = \frac{\Phi}{(T_1 - T_2)A}$ NOTES 1. This assumes the definition of the system, the two reference temperatures, T_1 and T_2 , and other boundary conditions. 2. "Thermal transmittance" should be replaced by "surface thermal transmittance" when it may be confused with "linear thermal transmittance". 3. The reciprocal of the thermal transmittance is the total thermal resistance between the surroundings	U	$W/(m^2 \cdot K)$	[5], [15], [17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		on each side of the system.			
100	Thermal transmittance (linear)	Heat flow rate in the steady state divided by length and by the temperature difference between the surroundings on each side of a system: $\Psi = \frac{\Phi}{(T_1 - T_2)l}$	Ψ	W/(m·K)	[5], [15]
		NOTES 1. This assumes the definition of the system, the two reference temperatures, T_1 and T_2 , and other boundary conditions. 2. The reciprocal of the linear thermal transmittance is the total linear thermal resistance between the surroundings on each side of the system.			
101	Thermal transmittance (local)	The local thermal transmittance gives the extra heat transfer per Kelvin temperature difference between the inside for a local, three-dimensional thermal bridge.	χ	W/ K	[15]
102	Thermodynamic system	Is a region in space or quantity of matter bounded by a closed surface. The surroundings include everything external to the system, and the system is separated from the surroundings by the system boundaries. These boundaries can be movable or fixed, real or imaginary.			[17]
103	Transfer factor	Characterizes an insulating product in relation with the combined conduction and radiation heat transfer; it depends on experimental conditions and is expressed by $\mathcal{T} = \frac{qd}{\Delta T} = \frac{d}{R}$	\mathcal{T}	W/(m·K)	[7]
		NOTE – It may be derived from the measurement of q , d and ΔT in a guarded hot plate; it is a material			

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		property only when $d > d_{\infty}$ (see figure 4 ISO 9288).			
104	Transient state	Non-steady state in which values of the relevant parameters evolve from an initial state asymptotically to either steady or periodic state.			[6]
105	Volume coefficient of heat loss	<p>Heat flow rate from the building divided by the volume and by the difference of temperature between the internal and external environment:</p> $F_v = \frac{\Phi}{V \cdot \Delta T}$ <p>NOTE – The heat flow rate may optionally include the contributions of heat transmissions through the building envelope, ventilation, solar radiation, etc. The volume, V, shall be defined.</p> <p>The use of volume coefficient of heat loss assumes a conventional definition of internal temperature, external temperature, volume and different contributions resulting in the heat flow rate.</p>	F_v	W/(m ³ ·K)	[5]
106	Volumetric heat capacity	<p>The volumetric heat capacity of a material is defined as the heat (energy) required to increase the temperature of unit volume of the material by 1 K.</p> <p>If the material is wet, the volumetric heat capacity $\rho_0 c$ is calculated as:</p> $\rho_0 c = \rho_0 c_0 4187 \cdot w$ <p>The above relation assumes that the specific heat capacity of water is a constant equal to 4187 J/(kg·K).</p>	$\rho_0 c_0$	J/(m ³ ·K)	[14]
107	Volumetric moisture capacity	The volumetric moisture capacity of a material is defined as the increase in the moisture content in unit volume of the material that follows unit increase in the vapour pressure or suction.	$\rho_0 \xi$	kg/(m ³ ·Pa)	[14], [17]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		From hygroscopic range volumetric moisture capacity can be calculated from the slope of the sorption curve and above critical moisture content in can be calculated as the slope of the suction curve.			
108	Wall annual index	Quantity of wind driven rain per square metre at a point on a wall of given orientation based on the airfield annual index and corrections for roughness, topography, obstruction and wall factors.	I_{WA}	l/m^2	[9]
109	Wall factor	Ratio of the quantity of water hitting a wall to the quantity passing through an equivalent unobstructed space, allowing for the characteristics of the wall.	W		[9]
110	Wall orientation	Angle between north and line normal to a wall.	θ	$^{\circ}$	[9]
111	Wall spell index	Quantity of wind driven rain per square metre at a point on a given wall, based on the airfield spell index and corrections for roughness, topography, obstruction and wall factors.	I_{WS}	l/m^2	[9]
112	Water penetration coefficient	<p>Quantity B defined by the following relation:</p> $x = B\sqrt{t}$ <p>where</p> <p>x is the penetration depth of the water front during sorption from a water surface;</p> <p>t is time.</p>	B	$m/s^{1/2}$	[9]
113	Water sorption coefficient	<p>Quantity A defined by the following relation:</p> $m_s = A\sqrt{t}$ <p>where</p> <p>m_s is the mass per area of sorbed moisture from a water surface;</p>	A	$kg/(m^2 \cdot s^{1/2})$	[8], [16]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		t is time.			
114	Water vapour	Moisture in the gaseous phase.			[8]
115	Water vapour concentration	The vapour concentration in a given volume of building material is defined as the ratio between the mass of water vapour in that volume and the volume. It can also be defined as the mass of water vapour per unit volume of the material.	ρ_v	kg/m ³	[14],[15]
116	Water vapour convection	Transfer of water vapour in a gas mixture by movement of the whole gas mixture due to a difference in total pressure.			[8],[15]
117	Water vapour diffusion	Movement of water vapour molecules in a gas mixture tending to equalize the vapour content in the air or the partial pressure of the vapour, with the total pressure being constant.			[8], [15]
118	Water vapour diffusion equivalent air layer thickness	Thickness of a motionless air layer which has the same water vapour resistance, as the material layer in question: $S_d = \mu d$	s_d	m	[8], [10]
119	Water vapour diffusion coefficient in the air	Quantity D defined by the following relation: $\vec{g} = -D \text{ grad } v$ where \vec{g} is the vector density of water vapour flow rate in air; v is the humidity by volume. NOTE – Fick's law describes water vapour diffusion on in air.	D	m ² /s	[8]
120	Water vapour flow rate density	The density of vapour flow rate in a material at a point is defined as the mass of vapour transported in unit time across unit area of a plane that includes the point and is perpendicular to the direction of the transport.	g_v	kg/(m ² ·s)	[10], [14]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
121	Water vapour permeability	<p>The vapour permeability at a point is defined as the ratio between the density of vapour flow rate at the point and the magnitude of the vapour pressure gradient in the direction of the flow.</p> <p>Quantities δ_v and δ_p defined by the following relations:</p> <p>a) permeability with regard to humidity by volume</p> $\vec{g} = -\delta_v \text{ grad } v$ <p>b) permeability with regard to partial water vapour pressure</p> $\vec{g} = -\delta_p \text{ grad } P_v$ <p>where</p> <p>\vec{g} is the vector density of water vapour flow rate;</p> <p>v is the humidity by volume in the pores;</p> <p>P_v is the partial water vapour pressure in the pores.</p> <p>NOTE - Water vapour transmission through porous materials can be related to different driving mechanisms. Humidity by volume or partial vapour pressure are commonly used.</p> <p>Although part of the moisture flow is in the liquid phase, the water vapour permeability measured by the methods in ISO 12572 is used in calculations as if only vapour diffusion was occurring (see, for example, ISO 13788).</p> <p>The transfer coefficients are dependent on the level of the corresponding relative humidity or moisture content of the material.</p>	δ_v	m^2/s	[8], [14]
			δ_p	$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{Pa}\cdot\text{s})$	
122	Water vapour permeance	The vapour permeance of specimen of a material bound by two parallel			[8], [14]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		<p>surfaces is the ratio between the density of vapour flow rate and the magnitude of the vapour pressure difference across the bounding surfaces, under steady state conditions.</p> <p>Quantities W_v and W_p defined by the following relations:</p> <p>a) permeance with regard to humidity by volume</p> $g = W_v(v_1 - v_2)$ <p>b) permeance with regard to humidity by volume</p> $g = W_p(P_{v1} - P_{v2})$ <p>where</p> <p>g is the density of water vapour flow rate perpendicular to the surfaces of a layer;</p> <p>v_1 and v_2 are the ambient humidities by volume of air;</p> <p>P_{v1} and P_{v2} are ambient partial vapour pressures.</p>	W_v	m/s	
			W_p	kg/(m ² ·Pa·s)	
123	Water vapour pressure	Part of the total atmospheric pressure exerted by water vapour.	p	hPa	[9]
124	Water vapour ratio	Mass of water vapour per mass-unit of dry air. Also the vapour ratio is derived variable of state.	x	kg/kg	[15]
125	Water vapour resistance	<p>Inverse of water vapour permeance:</p> <p>a) water vapour resistance with regard to humidity by volume</p> $Z_v = \frac{1}{W_v}; \left(g = \frac{v_1 - v_2}{Z_v} \right)$ <p>b) water vapour resistance with regard to partial vapour pressure</p> $Z_p = \frac{1}{W_p}; \left(g = \frac{P_{v1} - P_{v2}}{Z_p} \right)$	Z_v	s/m	[8], [14]
			Z_p	m ² ·Pa·s/kg	
126	Water vapour resistance factor	Water vapour diffusion coefficient in air, D , divided by the water vapour permeability, δ_v , of a porous material	μ		[8], [14]

Id.	Conceito/Parâmetro	Definição	Símbolo	Unidade(s)	Ref.
		$\mu = \frac{D}{\delta_v}$ <p>NOTE - The water vapour resistance factor indicates how much greater the resistance of the material is compared to an equally thick layer of stationary air at the same temperature.</p>			
127	Water vapour resistivity	The reciprocal of vapour permeability.	N	m·Pa·s/kg	[14]
128	Water vapour transfer	The water vapour flow induced by a partial water vapour pressure difference or a flow of humid air.	M_v	kg/s	[17]
129	Water vapour transfer (surface coefficient)	<p>Quantity β_v and β_p defined by the following relations:</p> <p>a) $g = \beta_v (v_a - v_s)$</p> <p>b) $g = \beta_p (P_{Va} - P_{Vs})$</p> <p>where</p> <p>$g$ is the density of moisture flow rate;</p> <p>v_a and v_s are the humidities by volume of ambient air and at the surface respectively;</p> <p>P_{Va} and P_{Vs} are the partial vapour pressures of ambient air and at the surface respectively.</p>	β_v	m/s	[8]
			β_p	kg/(m ² ·s·Pa)	

2.2. TERMINOLOGIA USADA NESTE TRABALHO

Dos 129 conceitos e parâmetros anteriormente definidos sintetizam-se, no quadro 2.2, aqueles cujo conhecimento é imprescindível para a realização deste trabalho.

Quadro 2.2 – Terminologia usada neste trabalho

Parâmetro/Conceito	Símbolo	Unidade	Correspondência com o Quadro 2.1
Calor específico	c	J/(kg·K)	74
Coeficiente de absorção solar	α	-	1
Coeficiente de absorção de água	A	kg/(m ² ·s ^{1/2})	113

Parâmetro/Conceito	Símbolo	Unidade	Correspondência com o Quadro 2.1
Coeficiente de transmissão térmica	U	W/(m ² ·K)	99
Condutibilidade térmica	λ	W/(m·K)	86
Curva de adsorção higroscópica	-	-	78
Densidade	ρ	kg/m ³	17
Emissividade	ε	-	22
Espessura da camada de ar de difusão equivalente	Sd	m	118
Factor de resistência à difusão do vapor de água	μ	-	126
Humidade Relativa	φ	%	69
Porosidade	ξ	m ³ /m ³	64
Resistência Térmica	R	(m ² ·K)/W	94
Resistência Térmica superficial	Ri ou Re	(m ² ·K)/W	79
Coeficiente de difusividade hídrica	Dw	m ² /s	53
Teor em humidade	w	kg/m ³	51
Teor de humidade máximo	w _{max}	kg/m ³	51
Radiação solar global	G _{s,g}	W/m ²	72
Radiação solar difusa	G _{s,d}	W/m ²	72
Radiação de onda longa atmosférica	G _t	W/m ²	45

3

PROGRAMA DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA EM REGIME DINÂMICO PARA AVALIAÇÃO HIGROTÉRMICA DE FACHADAS

3.1. INTRODUÇÃO

A avaliação do comportamento higrotérmico dos componentes de construção é muito importante para evitar a curto ou longo prazo patologias induzidas pela humidade ou fluxos de calor. Uma vez que, as investigações experimentais são bastante caras e de transitabilidade limitada, há uma necessidade de utilizar ferramentas de simulação de transferência de calor e transporte de humidade que sejam de fácil uso.

3.2. PROGRAMA DE CÁLCULO AUTOMÁTICO

3.2.1. PROGRAMA DE CÁLCULO UTILIZADO

No presente trabalho utilizou-se o programa WUFI Pro 4.2, por ser um programa comercial com grande utilização internacional e possuir uma vasta validação experimental. Trata-se de um programa de simulação numérica em regime dinâmico para fluxo unidireccional (1D), tendo sido desenvolvido na Alemanha pelo Fraunhofer Institut für Bauphysik. Tem por objectivo calcular a transferência de calor e o transporte de humidade nas várias camadas constituintes do elemento construtivo.

Refira-se que foi desenvolvido um protocolo de difusão desta ferramenta informática entre a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e o Fraunhofer Institut für Bauphysik.

3.2.2. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

3.2.2.1. Ecrã principal

O WUFI PRO 4.2 inicia-se com a apresentação de um ecrã principal (figura 3.1), a partir deste ecrã é possível aceder aos diversos menus que permitirão ter acesso a todas as opções disponíveis e necessárias para a formulação de uma simulação.

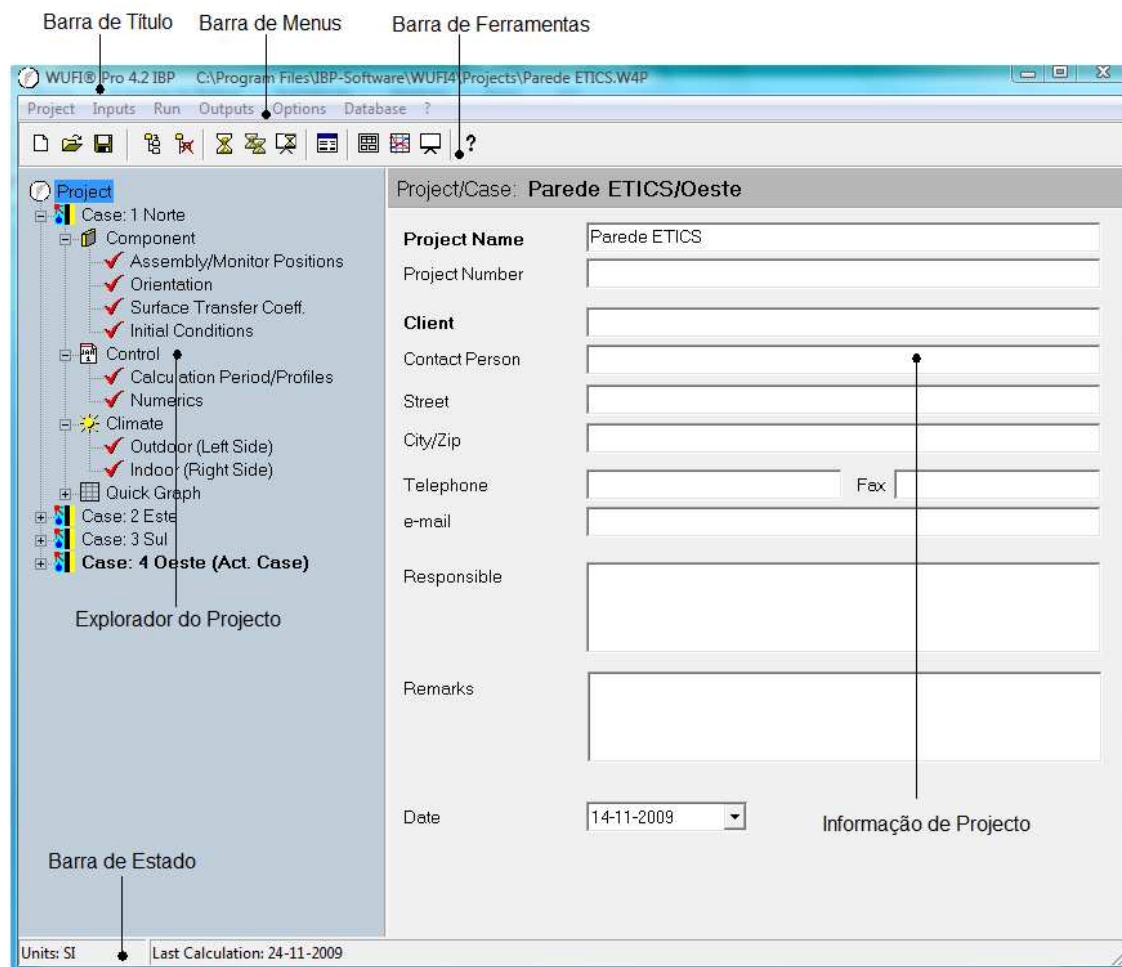


Fig. 3.1 – Ecrã inicial (WUFI Pro 4.2)

No ecrã principal pode-se encontrar os seguintes elementos:

- Barra de título: onde é apresentado o nome do programa (WUFI Pro 4.2), bem como o nome do projecto em utilização;
- Barra de menus: nesta barra são expostos os diferentes menus;
- Barra de ferramentas: nesta barra encontram-se os comandos usados com maior frequência;
- Explorador do projecto: é uma alternativa ao menu input de agradável visualização e fácil utilização;
- Informação de projecto: permite inserir variadas informações sobre o projecto como o nome ou o número, e guardar comentários;
- Barra de estado: mostra o sistema de unidades em utilização, bem como a data da última simulação realizada.

3.2.2.2. Barra de menus

A barra de menus tem seis menus disponíveis (figura 3.2), o primeiro dos quais, é menu “Project” e subdivide-se em:

- New Project: cria um novo projecto.
- New case: cria um novo caso dentro do projecto actual.
- Remove selected case: elimina o caso seleccionado do projecto em execução.
- Open: abre um projecto guardado anteriormente.
- Reopen: permite o acesso rápido aos dez últimos projectos realizados.
- Save: guarda entradas de dados no projecto, e se já existentes, os resultados dos cálculos.
- Save as: permite guardar o projecto em execução com um novo nome.
- Close: encerra o programa WUFI Pro 4.2.

O menu “Input” é o que se segue e apresenta as seguintes opções:

- Assembly/Monitoring Positions: permite a fácil entrada da geometria dos elementos de construção, a escolha das propriedades dos materiais constantes na base de dados do programa e/ou a introdução de novos materiais com as respectivas propriedades.
- Orientation/Inclination/Height: permite definir a orientação, a inclinação e a altura acima do solo do elemento construtivo.
- Surface transfer coefficients: permite definir as propriedades de transferência das superfícies interiores e exteriores.
- Initial conditions: possibilita a entrada das condições iniciais de humidade e temperatura no elemento construtivo.
- Calculation Period/Profiles: permite definir a data de início e a duração do período de cálculo.
- Numerics: diferentes parâmetros numéricos do cálculo podem ser definidos aqui.
- Climate outdoor: permite definir as condições climáticas exteriores.
- Climate indoor: permite definir o clima interior.

No menu “Run” existem três opções:

- Run: Inicia o cálculo do caso seleccionado.
- Run all: Inicia o cálculo de todos os casos que fazem parte do projecto.
- Run with film: abre um ecrã com uma animação, onde se pode ver os resultados, á medida que o cálculo prossegue.

O menu seguinte “Outputs” tem sete opções disponíveis:

- Input summary data/Last calculation: apresenta um relatório, para impressão, dos dados fornecidos ao programa e um resumo do último cálculo efectuado.
- Status last calculation: expõe um breve resumo dos resultados do último cálculo.
- Result graphs: aqui todos os resultados são exibidos em forma de gráfico, estes já se encontram formatados para impressão.
- View film: neste menu os resultados são apresentados através de uma animação 1D, que ilustra a variação de determinados parâmetros ao longo elemento construtivo no decorrer do período de cálculo.
- Measured data: esta opção permite importar resultados experimentais para apresentá-los juntamente com os resultados do cálculo, permitindo a fácil comparação entre ambos.

- ASCII – Export: em complemento ao “result graphs” os resultados do cálculo podem também ser exportados em forma de lista podendo ser tratados posteriormente com outro software.
- Export film: os vídeos também podem ser exportados, de modo a ser possível a sua posterior visualização.

Seguidamente aparece o menu “Options”:

- Unit system: permite alterar o sistema de unidades em uso.
- Warnings: Este menu permite uma selecção individual dos eventos que desencadeiam uma advertência.
- Result data: Neste menu pode-se escolher quais os resultados que pretendemos guardar no ficheiro do projecto. Desactivando a opção que permite guardar o vídeo de resultados pode-se reduzir o tamanho do ficheiro até cerca de 90%.

O menu “Database” divide-se em dois submenus:

- Materials: abre a base de dados dos materiais. Podem-se visualizar todas as propriedades dos materiais dentro da base de dados, permite, também, inserir novos matérias na base de dados.
- Constructions: abre uma base de dados com elementos construtivos predefinidos, pode-se, também, criar novos elementos construtivos e guarda-los na base de dados.

Por último surge o menu “?” com as seguintes opções:

- General: abre a página inicial da ajuda online do programa.
- Content: exhibe conteúdo da página de ajuda online do sistema dividida em diferentes tópicos de ajuda.
- IBP on the Web: exhibe a página na internet do programa WUFI.
- Wufi forum: cria uma ligação ao fórum do programa na internet.
- About wufi: exhibe um conjunto de informação sobre direitos de autor, licença e a versão do programa.

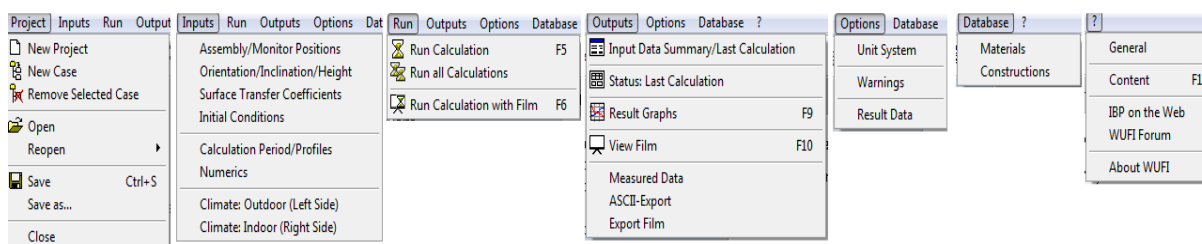


Fig. 3.2 – Barra de Menus (WUFI Pro 4.2)

3.2.3. UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

Neste ponto, serão explicados todos os passos necessários para a execução de uma simulação. A título de exemplo, será pormenorizada uma simulação correspondente a uma parede exterior revestida com ETICS, localizada no Porto, voltada a Sul de cor clara e com isolamento térmico de 5cm. Serão, também, abordados alguns pormenores relativos ao presente estudo.

3.2.3.1. Informação sobre o projecto e o caso

A simulação inicia-se com a definição do projecto e caso em análise.

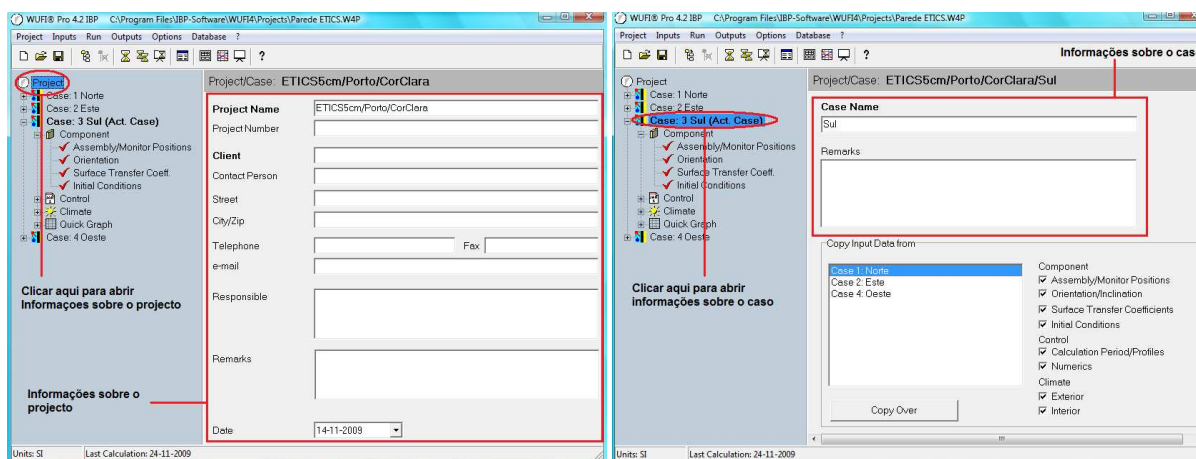


Fig. 3.3 – Informação sobre o projecto e caso (WUFI Pro 4.2)

Estas caixas de diálogo (figura 3.3) permitem a introdução do nome do projecto e do caso, bem como qualquer comentário que se considere oportuno. Nesta simulação, utilizou-se como nome de projecto “ETICS5cm/Porto/CorClara” e nome do caso “Sul”.

3.2.3.2. Configuração do elemento construtivo

Após o preenchimento dos dados relativos ao projecto e ao caso inicia-se a configuração do elemento construtivo. Assim, começa-se por seleccionar o menu “Assembly/Monitor Positions” (1), criam-se as camadas necessárias à configuração do elemento construtivo (2), posteriormente atribui-se a cada camada o material desejado (3) e define-se a espessura pretendida para a camada em causa (4), como o esquematizado na figura 3.4. No presente trabalho optou-se por utilizar materiais que constassem na base de dados do programa, não sendo necessário criar novos materiais.

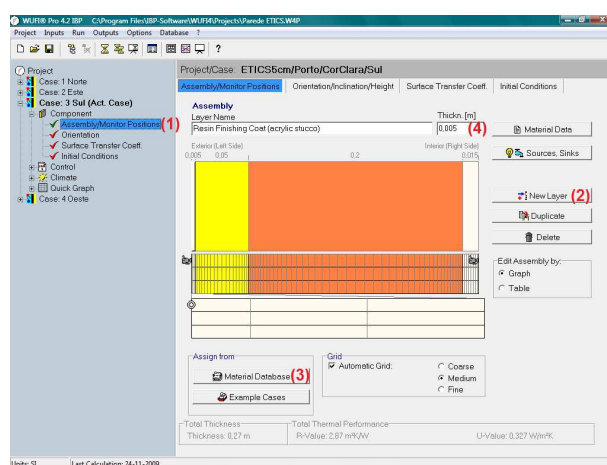


Fig. 3.4 – Configuração do elemento construtivo (WUFI Pro 4.2)

A base de dados do programa de cálculo encontra-se dividida em fontes e catálogos (1), conforme a origem da determinação das propriedades e o tipo de material. Em (2), pode-se seleccionar o material pretendido e atribuí-lo à respectiva camada através de (3). O programa possibilita, ainda, a visualização das propriedades dos materiais (4) e (5), o que permite uma correcta identificação dos materiais pretendidos.

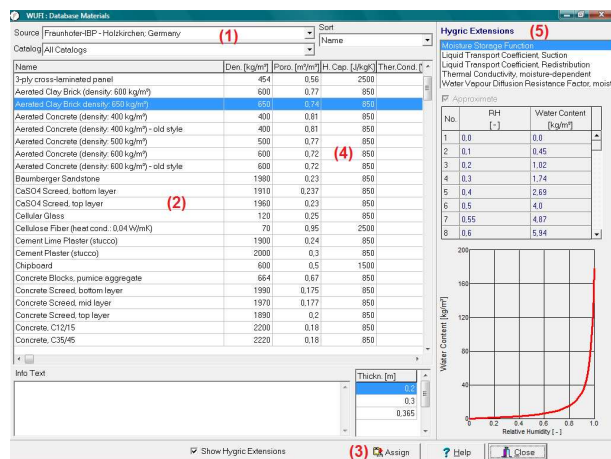


Fig. 3.5 – Selecção dos materiais (WUFI Pro 4.2)

3.2.3.3. Orientação, inclinação e altura

O passo seguinte é definir a orientação, inclinação e altura do elemento construtivo. Estes parâmetros são necessários para o cálculo da chuva e da radiação incidente na superfície do paramento, se o estudo for sobre paredes interiores esta opção não é usada.

Nesta caixa de diálogo, figura 3.6, é possível seleccionar a orientação da superfície exterior (1), segundo os quatro pontos cardeais e respectivos pontos colaterais. Definir o ângulo que a superfície faz com a horizontal (2), sendo que um ângulo de 90° corresponde a uma parede vertical e um ângulo de 0° a uma cobertura plana. Pode-se, também, de entre as opções disponíveis, escolher a altura acima do terreno circundante (3).

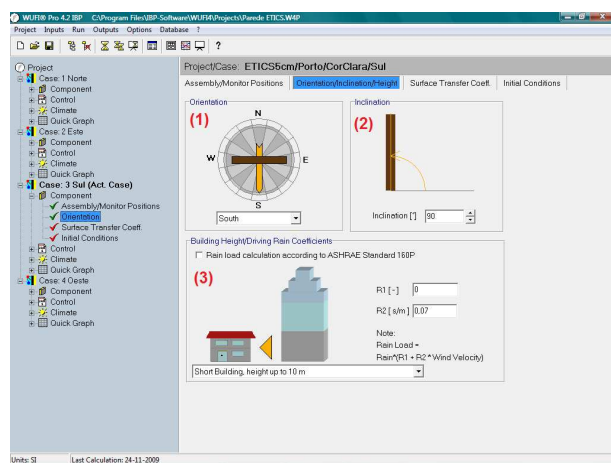


Fig. 3.6 – Orientação, inclinação e altura do elemento (WUFI Pro 4.2)

No presente trabalho estudaram-se apenas paredes verticais exteriores em edifícios baixos, com altura até 10m, que representam a maioria dos edifícios em Portugal. Nesta simulação, em concreto, escolheu-se a orientação Sul.

3.2.3.4. Coeficientes de transferência superficiais

Pretende-se agora definir os coeficientes de transferência das superfícies que descrevem como as condições ambientais afectam o elemento construtivo.

Para a superfície exterior da parede é necessário introduzir o valor para a resistência térmica, possíveis revestimentos, coeficientes de absorção e emissão de radiação solar e o coeficiente de absorção da água da chuva. Relativamente à superfície interior da fachada, é essencial definir a resistência térmica, e a espessura da camada de ar de difusão equivalente de um possível revestimento.

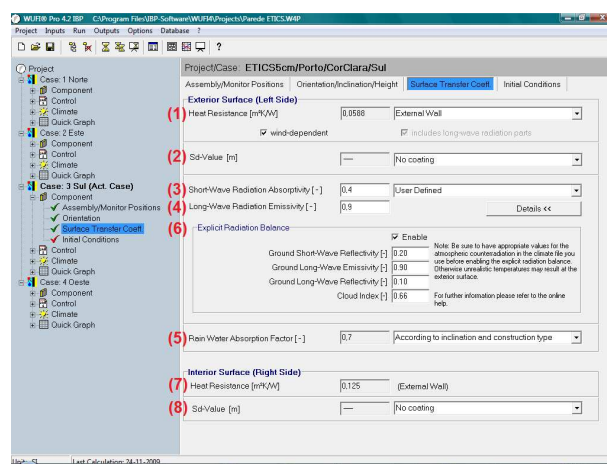


Fig. 3.7 – Coeficientes de transferência superficiais (WUFI Pro 4.2)

No presente estudo utilizaram-se os valores para os coeficientes de resistência térmica superficial interior e exterior, sugeridos pelo programa para uma parede exterior, respectivamente, 0.125 e 0.0588 $\text{m}^2\cdot\text{k}/\text{W}$ (1) e (7). Não foram considerados quaisquer revestimentos adicionais (2) e (8), o valor do coeficiente de absorção solar variou-se nas várias simulações, sendo que na presente simulação considerou-se 0.4 (cor clara) (3), para a emissividade utilizou-se o valor fixo de 0.9 (4). Relativamente ao coeficiente de absorção da água da chuva foi utilizado o valor de 0.7, proposto pelo programa, que tem em conta a inclinação e o tipo de construção (5). Activou-se, ainda, a opção “Explicit Radiation Balance”, de modo a ter em conta no cálculo o fenómeno do arrefecimento radiactivo (6).

3.2.3.5. Condições iniciais

A definição da humidade relativa e da temperatura inicial do elemento construtivo é o passo que se segue. Neste estudo definiu-se como valores constantes de humidade relativa e temperatura, ao longo do elemento construtivo, 65% e 20°C, respectivamente (figura 3.9).

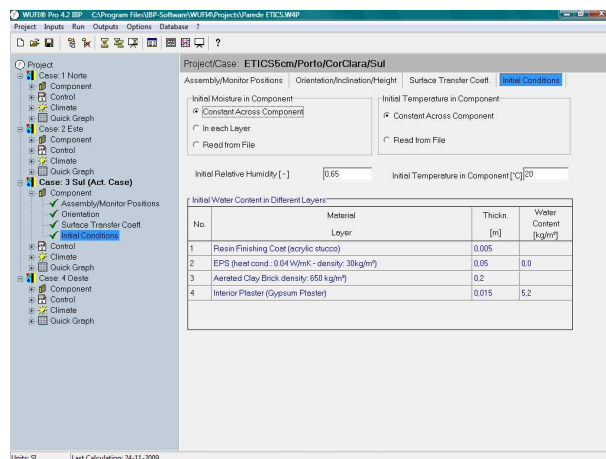


Fig. 3.8 – Condições iniciais (WUFI Pro 4.2)

3.2.3.6. Período de cálculo

Em conformidade com os dados climáticos horários obtidos através do programa “Meteonorm” referentes ao ano de 2005, também o período de simulação foi considerado o ano de 2005 (figura 3.9).

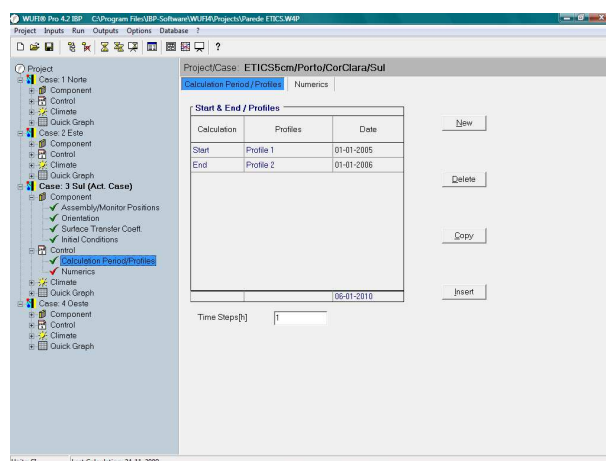


Fig. 3.9 – Período de cálculo (WUFI Pro 4.2)

3.2.3.7. Condições climáticas

Antes de dar início à simulação é essencial definir as condições climáticas interiores e exteriores. Os dados relativos ao clima exterior (temperatura, humidade relativa, radiação solar, precipitação, pressão atmosférica, velocidade e direcção do vento) foram obtidos através do programa “Meteonorm”. No entanto, estes dados encontram-se sob a forma de um ficheiro com extensão .dat. e o “WUFI Pro 4.2” não suporta este tipo de ficheiros. Surge, então, a necessidade de converter o ficheiro .dat num ficheiro compatível com o programa de cálculo.

A conversão deste tipo de ficheiro foi efectuada com auxílio a uma ferramenta fornecida juntamente com o software de simulação. Obtêm-se, deste modo, um ficheiro com a extensão .wac suportado pelo programa de cálculo.

Obtidos os dados climáticos exteriores, basta agora importa-los para o programa de cálculo (figura 3.10).

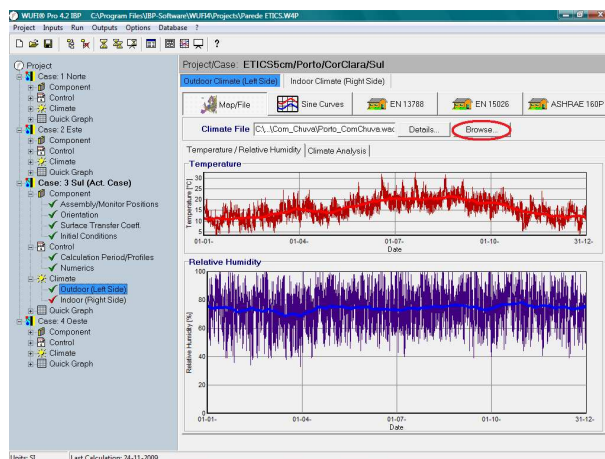


Fig. 3.10 – Dados climáticos exteriores (WUFI Pro 4.2)

No presente caso estes dados referem-se ao clima do Porto.

Relativamente aos dados climáticos interiores, temperatura e humidade relativa, consideraram-se constantes e de valor 20°C e 60%, respectivamente. Esta não é uma situação realista, porém, pode ser adoptada por uma questão de simplicidade, desde que o fenómeno em estudo ocorra no exterior.

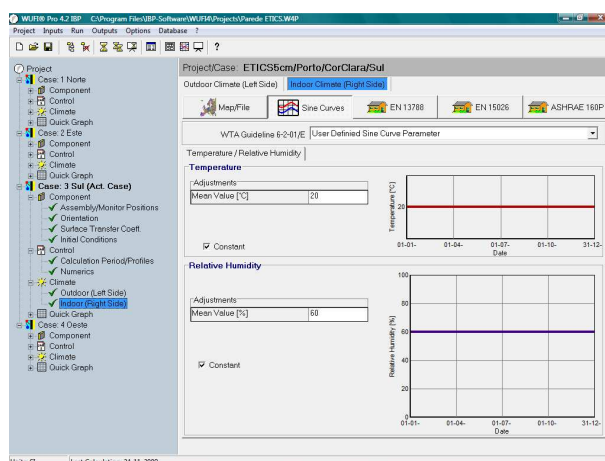


Fig. 3.11 – Dados climáticos interiores (WUFI Pro 4.2)

3.2.3.8. Cálculo

Concluída a introdução de todos os dados necessários à execução da simulação, dá-se início ao cálculo propriamente dito. Este pode ser realizado com uma animação (figura 3.12) ou sem animação (figura 3.13), através das opções “run calculation” ou “run calculation with a film” no menu “run”.

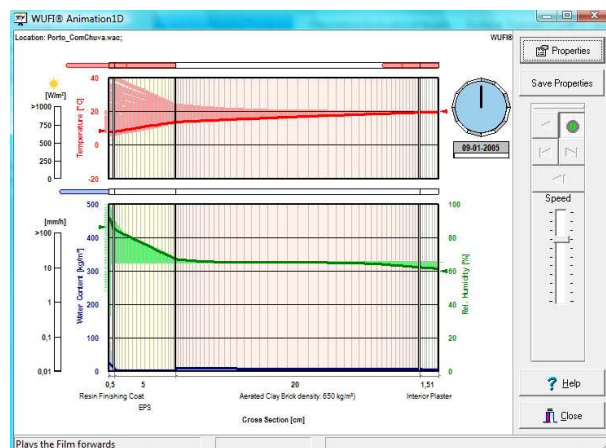


Fig. 3.12 – Simulação a decorrer com animação (WUFI Pro 4.2)

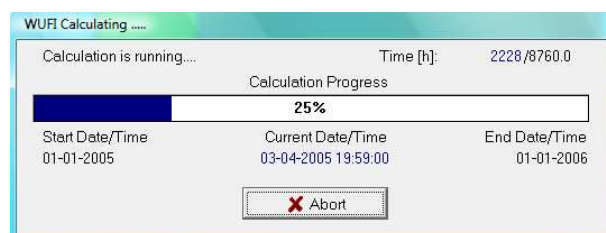


Fig. 3.13 – Simulação a decorrer sem animação (WUFI Pro 4.2)

3.2.3.9. Resultados

Após a execução do cálculo, surge uma nova opção no explorador do projecto, designada “Quick Graph”. Neste item são apresentados vários gráficos com os resultados da simulação, podendo optar-se por:

- Total water content: este gráfico fornece o teor de humidade no elemento ao longo do período estudado (figura 3.14);
- Water content in layer: à semelhança do gráfico anterior, este gráfico fornece o teor de humidade em ordem ao tempo para cada uma das camadas do elemento construtivo (figura 3.15);
- Monitor position temperature/humidity: neste gráfico é possível visualizar, em simultâneo, a variação da temperatura e da humidade relativa ao longo do tempo em qualquer ponto do elemento construtivo, bastando para isso definir previamente os pontos para os quais se quer obter essa informação. Em alternativa pode-se optar pela visualização, em simultâneo, da variação da temperatura do ar e da temperatura do ponto de orvalho ao longo do tempo (figura 3.16);

- Monitor position isopleths: neste ponto é apresentado um gráfico que identifica em cada intervalo de tempo (no presente trabalho, em cada hora do ano) a temperatura e a humidade relativa presentes nos locais analisados do elemento (figura 3.17).

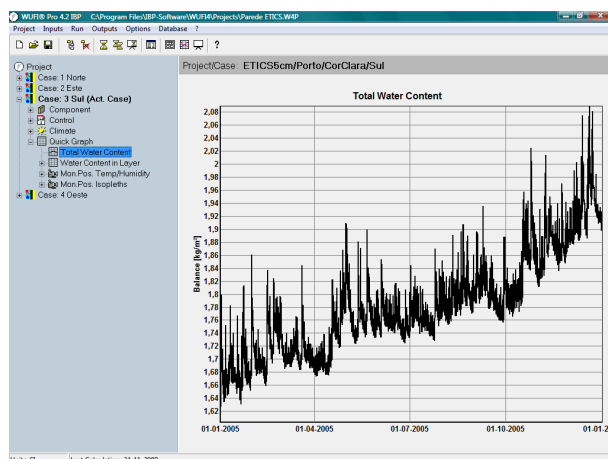


Fig. 3.14 – Teor de humidade total (WUFI Pro 4.2)

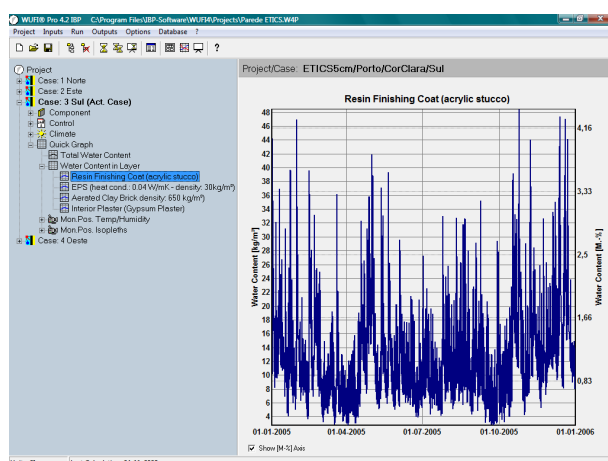


Fig. 3.15 – Teor de humidade em cada camada do elemento construtivo (WUFI Pro 4.2)

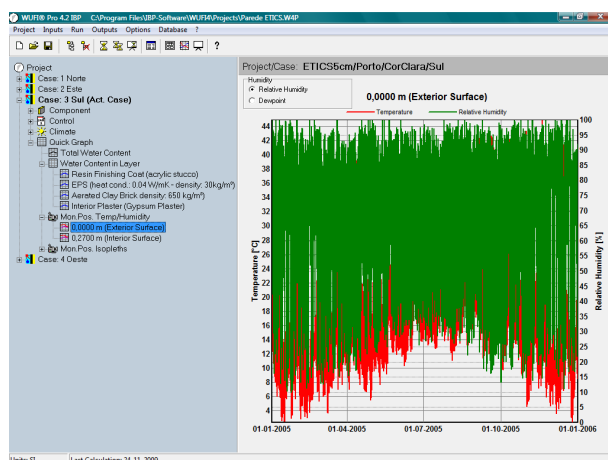


Fig. 3.16 – Variação da temperatura e da humidade relativa ao longo do tempo (WUFI Pro 4.2)

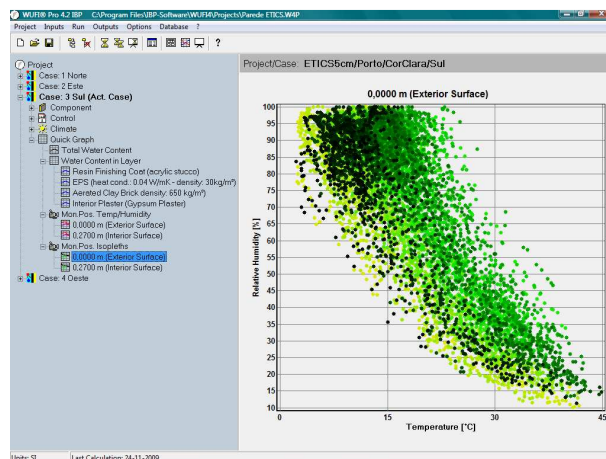


Fig. 3.17 - Temperatura e humidade relativa (WUFI Pro 4.2)

Para além desta saída de resultados existem outras opções como foi referido no ponto 3.2.2.2, no presente caso optou-se por exportar os resultados em forma de lista para posteriormente tratá-los com outro software e adequá-los ao estudo pretendido. Exportaram-se os dados relativos à temperatura superficial e ao teor de humidade da camada exterior (figura 3.18).

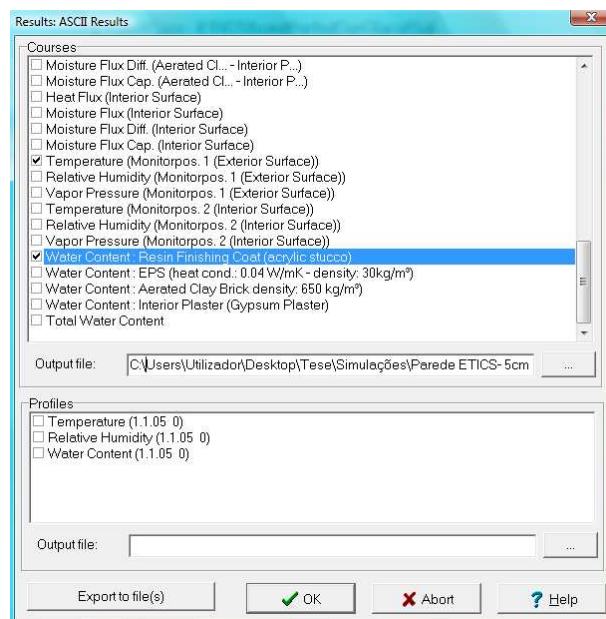


Fig. 3.18 – Selecção dos dados a exportar (WUFI Pro 4.2)

4

ESTUDO DE SENSIBILIDADE SOBRE O FENÓMENO DE DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA DE FACHADAS

4.1. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS OBJECTO DO PRESENTE ESTUDO

4.1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A concepção das fachadas em Portugal tem sofrido uma grande evolução, desde panos simples de elevada espessura em alvenaria de pedra ou tijolo maciço (até aos anos 40), aos panos duplos de alvenaria de tijolo vazado com caixa de ar entre panos (década de 60/70), passando pela utilização de materiais de isolamento térmico a preencher total ou parcialmente a caixa de ar das paredes (anos 80), até aos sistemas de isolamento térmico pelo exterior. Esta evolução define-se pela constante procura de resposta às crescentes expectativas de conforto no interior das habitações bem como às imposições legais [18].

4.1.2. CONFIGURAÇÃO DAS PAREDES

O presente trabalho tem como principal objectivo a avaliação do desempenho higrotérmico de fachadas em diferentes climas, com este fim estudaram-se duas soluções de paredes exteriores frequentemente utilizadas em Portugal. Uma parede dupla com uma fiada de tijolo de 15 cm pelo exterior e outra de 11cm pelo interior, sendo a caixa-de-ar parcialmente preenchida por uma placa de poliestireno expandido de 3cm, e uma parede com isolamento térmico pelo exterior, do tipo reboco delgado armado sobre poliestireno expandido (ETICS), na figura 4.1 são pormenorizadas as paredes em zona corrente, de forma a tornar mais fácil a identificação das camadas para posterior introdução dos dados no programa de cálculo.

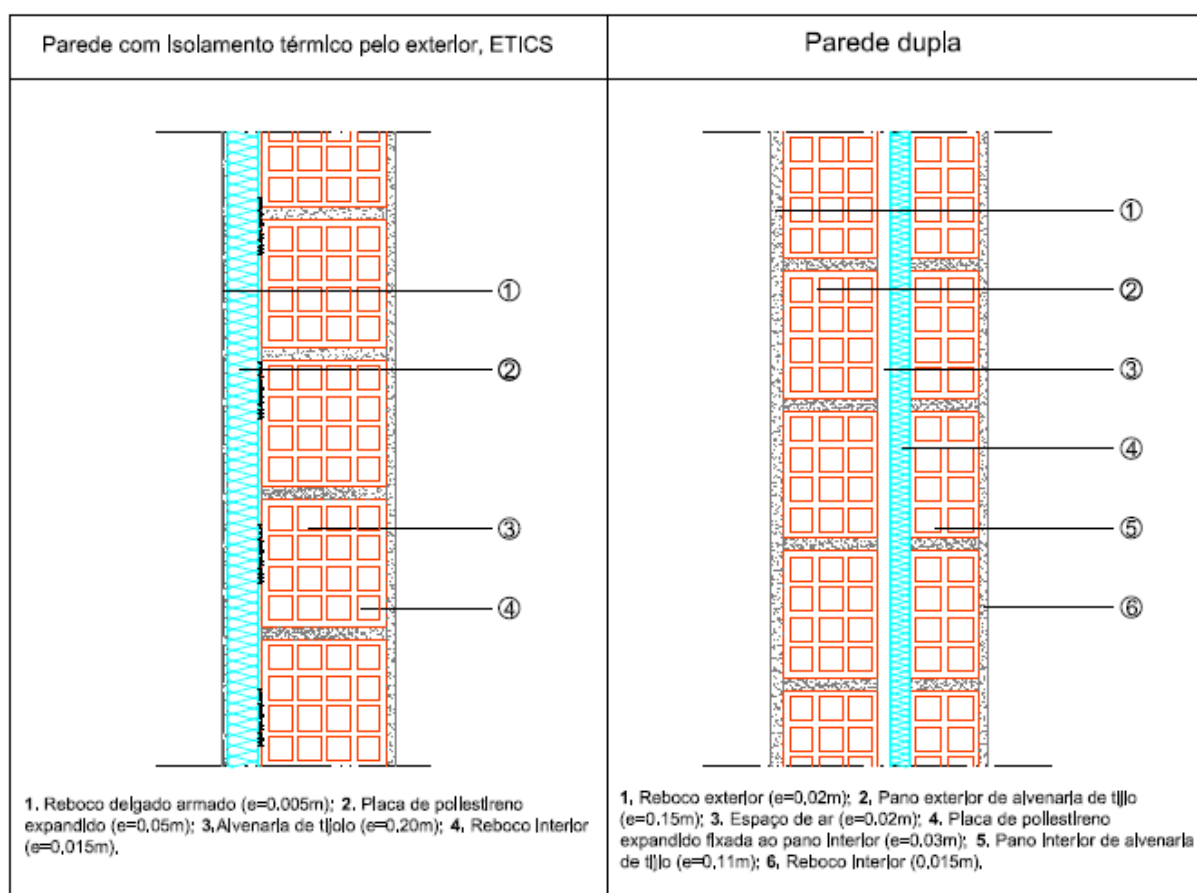


Fig. 4.1 – Pormenor construtivo das paredes objecto de simulação

4.1.3. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

O conhecimento das propriedades dos materiais é essencial para o estudo do comportamento higrótermico dos elementos construtivos, assim são apresentadas nos quadros 4.1 e 4.2 as propriedades básicas dos materiais constituintes de cada uma das camadas das paredes em análise.

Quadro 4.1 – Propriedades dos materiais constituintes das diferentes camadas da Parede Dupla [19]

Material	e (cm)	ρ (kg/m^3)	ξ (m^3/m^3)	c (J/kg·K)	λ (W/m·K)	μ (-)
Reboco exterior	2.0	850	0.65	850	0.20	8.3
Tijolo vazado	15	650	0.74	850	0.13	15
Espaço de ar	2.0	1.3	0.999	1000	0.13	0.56
Poliestireno expandido	3.0	30	0.95	1500	0.04	50
Tijolo vazado	11	650	0.74	850	0.13	15
Reboco interior	1.5	850	0.65	850	0.20	8.3

Quadro 4.2 – Propriedades dos materiais constituintes das diferentes camadas da Parede ETICS [19]

Material	e (cm)	ρ (kg/m ³)	ξ (m ³ /m ³)	c (J/kg·K)	λ (W/m·K)	μ (-)
Reboco armado delgado	0.5	2000	0.30	850	1.20	25
Poliestireno expandido	5.0	30	0.95	1500	0.04	50
Tijolo vazado	20	650	0.74	850	0.13	15
Reboco interior	1.5	850	0.65	850	0.20	8.3

4.2. ORGANIZAÇÃO DAS SIMULAÇÕES EFECTUADAS

O objectivo do presente trabalho é estudar o comportamento higrotérmico de diferentes paredes através da simulação numérica. Desta forma, realizaram-se diversas simulações, utilizando o software Wufi Pro 4.2, variando e combinando diferentes parâmetros, nomeadamente, o tipo de solução construtiva, o clima onde se insere, a orientação do elemento, a cor da parede e no caso da parede ETICS variou-se também a espessura do isolamento térmico. Assim, o propósito final do trabalho realizado, é perceber como a combinação destes factores afecta as condensações superficiais e o teor de humidade à superfície, e consequentemente a formação de microrganismos nas fachadas.

Deste modo analisaram-se quatro climas diferentes, referentes às cidades de Braga, Bragança, Porto e Lisboa. Estudou-se o comportamento das paredes segundos os quatro pontos cardeais, Norte, Este, Sul e Oeste, e a influência da cor do elemento, para tal estudaram-se duas cores, uma clara e outra escura, com coeficientes de absorção de 0.4 e 0.8 (quadro 4.3), respectivamente. Como referido anteriormente, para a parede ETICS estudou-se também a influência da espessura do isolamento térmico, utilizando-se inicialmente 5cm de isolamento e posteriormente aumentou-se a espessura do isolamento para 8cm.

Quadro 4.3 – Coeficientes de absorção solar [20]

Cor da superfície exterior	Clara	Média	Escura
Coeficiente de absorção solar da superfície exterior	0.4	0.5	0.8
Cor.....	Branco Creme Amarelo Laranja Vermelho-claro	Vermelho-escuro Verde-claro Azul-claro	Castanho Verde-escuro Azul-vivo Azul-escuro Preto

No total foram realizadas 96 simulações, 64 das quais relativas à parede revestida com ETICS e as restantes 32 correspondentes à parede dupla. Seguidamente apresentam-se, com o intuito de facilitar a interpretação e identificação das simulações efectuadas, os quadros 4.4 e 4.5.

4.2.1. PAREDE DUPLA

Quadro 4.4 – Organização das simulações efectuadas para a parede dupla

Clima	Orientação	Cor do Revestimento
Braga	Norte	Clara
		Escura
	Este	Clara
		Escura
	Sul	Clara
		Escura
	Oeste	Clara
		Escura
Bragança	Norte	Clara
		Escura
	Este	Clara
		Escura
	Sul	Clara
		Escura
	Oeste	Clara
		Escura
Lisboa	Norte	Clara
		Escura
	Este	Clara
		Escura
	Sul	Clara
		Escura
	Oeste	Clara
		Escura
Porto	Norte	Clara
		Escura
	Este	Clara
		Escura
	Sul	Clara
		Escura
	Oeste	Clara
		Escura

4.2.2. PAREDE ETICS

Quadro 4.5 – Organização das simulações efectuadas para a parede ETICS

Clima	Orientação	Cor do Revestimento	Esp. Isolamento
Braga	Norte	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Este	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Sul	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Oeste	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
Bragança	Norte	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Este	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Sul	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Oeste	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
Lisboa	Norte	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Este	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Sul	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Oeste	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
Porto	Norte	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Este	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Sul	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm
	Oeste	Clara	5cm
			8cm
		Escura	5cm
			8cm

4.3. OBJECTO DE ESTUDO

O desenvolvimento de microrganismos das fachadas está fortemente relacionado com teor de humidade à superfície, que resulta de três parâmetros fundamentais: a humedificação pela chuva incidente na fachada (acção conjunta do vento e da chuva), a humedificação por condensação superficial, que ocorre sempre que a temperatura da superfície exterior é inferior à temperatura de ponto de orvalho do ar próximo dessa superfície, e o processo de secagem. [1].

Na tentativa de estudar o comportamento das fachadas, no que se refere à ocorrência de condensações superficiais e ao teor de humidade à superfície, realizaram-se 96 simulações, 64 das quais relativas a uma parede revestida com ETICS e as restantes 32 correspondentes a uma parede dupla. Para tal fez-se variar o clima, a orientação, a cor da parede e, no caso da parede ETICS, variou-se também a espessura do isolamento térmico, conforme o esquematizado no subcapítulo anterior.

Partiu-se de uma situação definida como base, fachada ETICS ou parede dupla, conforme o caso, virada a sul, com revestimento de cor clara e isolamento térmico de 5cm (apenas na parede ETICS), e fez-se variar cada um destes parâmetros, de forma alternada, conjuntamente com o clima em que as fachadas se inserem.

O objectivo desta análise é perceber como a variação destes parâmetros afecta o número de horas por ano em que ocorrem condensações e a percentagem de tempo em que o teor de humidade de referência, na camada exterior das paredes, é excedido.

Tendo por base a bibliografia considerada admitiu-se que o valor crítico da humidade relativa para o forte desenvolvimento de algas corresponde a 80% desde que as temperaturas sejam favoráveis e existam nutrientes disponíveis. Definiu-se este valor no presente estudo como sendo o teor de humidade de referência.

No quadro seguinte apresentam-se os valores do teor de humidade de referência, bem como do teor de humidade máximo correspondente a 100% de humidade relativa, para as camadas exteriores de ambas as paredes.

Quadro 4.6 – Teor de humidade de referência e teor de humidade máximo [19]

Camada exterior	Teor de humidade de referência (kg/m ³)	Teor de humidade máximo (kg/m ³)
Parede ETICS	10	100
Parede Dupla	35	280

4.4. RESULTADOS - PAREDE ETICS

4.4.1. INFLUÊNCIA DO CLIMA

Com o intuito de avaliar a influência do clima nas condensações superficiais exteriores e no teor de humidade da camada exterior foram realizadas várias simulações variando o clima exterior. Para tal utilizaram-se os dados climáticos obtidos através do programa “METEONORM”, referentes a quatro cidades portuguesas, são elas, Braga, Bragança, Lisboa e Porto.

Para o efeito, partiu-se da situação base, fachada ETICS orientada a sul com revestimento de cor clara e isolamento térmico de 5cm, fazendo-se variar a sua localização.

4.4.1.1. Influência do clima nas condensações superficiais exteriores

A figura 4.2 mostra a influência que o clima exterior tem no número de horas em que ocorrem condensações superficiais na parede ETICS num ano.

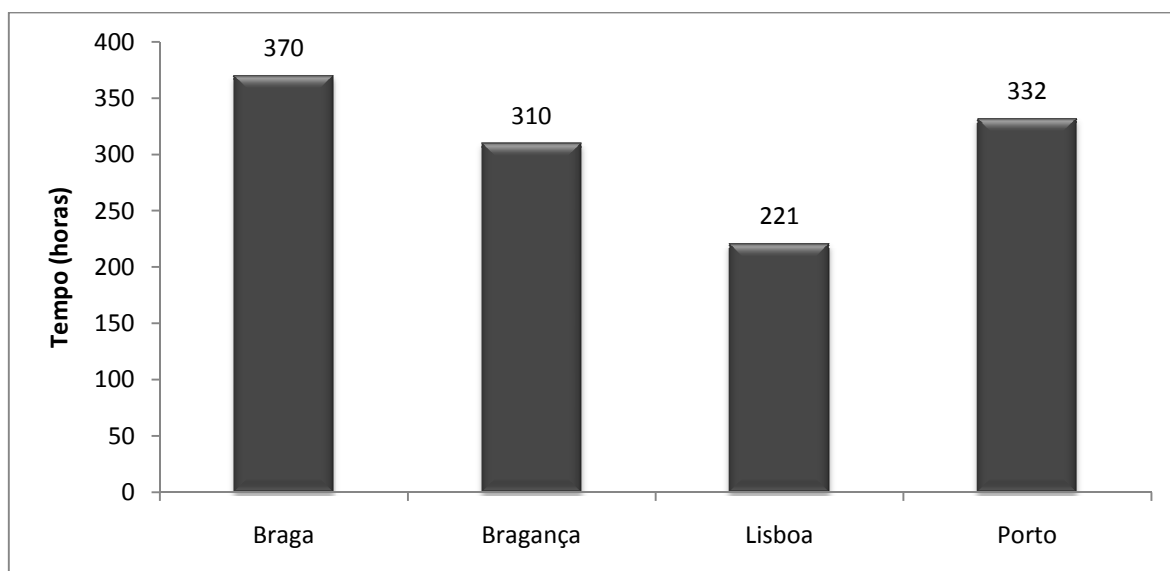


Fig. 4.2 – Influência do clima nas condensações superficiais exteriores na parede ETICS

O gráfico anterior representa o número de horas em que a superfície exterior da fachada atinge temperaturas abaixo da temperatura do ar exterior, dando, assim, origem a condensações superficiais.

Verifica-se que o clima de Braga, de entre os analisados, é aquele que apresenta maior número de horas em que ocorrem condensações na superfície exterior para a parede com isolamento térmico do tipo ETICS. O contrário acontece com o clima de Lisboa, onde o período de tempo em que ocorrerem condensações é menor. Entre Bragança e o Porto a diferença é pequena, no entanto, este número é ligeiramente superior para o clima do Porto.

4.4.1.2. Influência do clima no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS

Com o objectivo de perceber-se a influência do clima no teor de humidade, w , da camada exterior da parede ETICS, construiu-se a curva de frequências acumuladas referente a este parâmetro, figura 4.3.

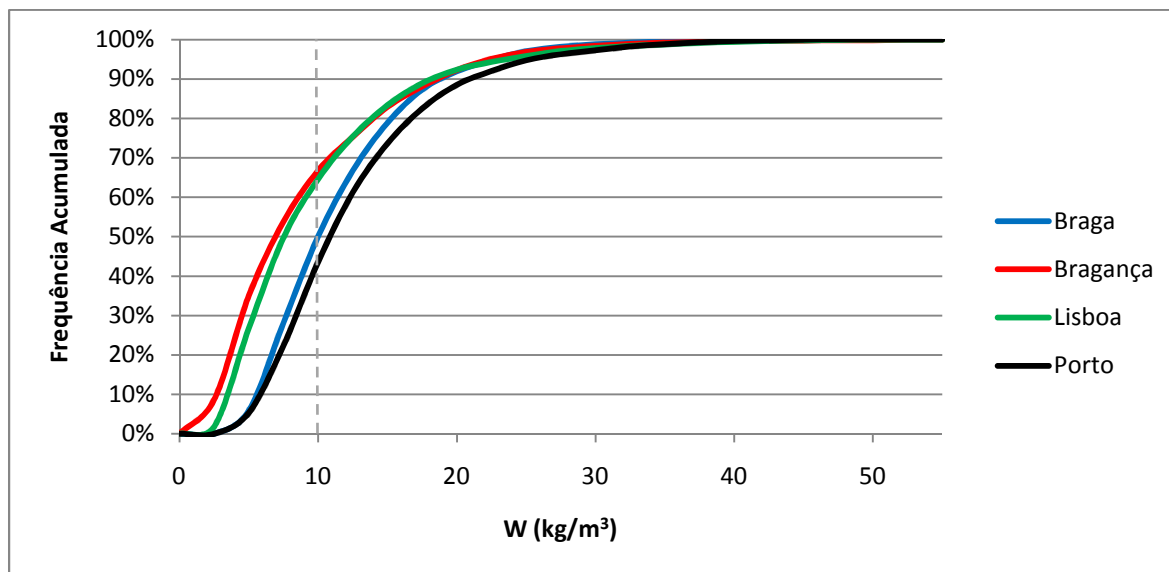


Fig. 4.3 – Influência do clima no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS

Do gráfico retira-se que o teor de humidade de 10 kg/m^3 , correspondente a uma humidade relativa de 80%, é ultrapassado em 33.3%, 35.4%, 50.0% e 56.4% do tempo, respectivamente para os climas de Bragança, Lisboa, Braga e Porto.

4.4.1.3. Análise crítica dos resultados

Embora Braga seja a cidade com maior risco de ocorrência de condensações, não é aquela que apresenta teores de humidade mais elevados ao longo do ano. Isto implica que a humidificação pela chuva incidente seja menos importante neste clima e/ou o processo de secagem mais intenso, quando comparada com o clima do Porto.

Tendo por base o teor de humidade na camada exterior da parede, e sabendo que o desenvolvimento de algas e fungos ocorre sobretudo em edifícios localizados no litoral Português, devido às temperaturas amenas e humidades relativas muito elevadas específicas destes climas, pode concluir-se que o clima do Porto será o mais propício ao aparecimento de microrganismos. Por outro lado, Bragança será o local onde este problema menos se fará sentir, pois, para além dos resultados destas simulações que atribuem a Bragança o menor período de tempo em que o teor de humidade de referência é superado, é sabido que este clima apresenta invernos frios e relativamente secos, condições não adequadas ao crescimento de microrganismos.

4.4.2. INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO

Neste subcapítulo tem-se por objectivo compreender como a orientação das fachadas influencia as condensações superficiais e o teor de humidade na camada exterior da parede em cada um dos climas.

Assim sendo, a partir da situação base fez-se a variar a orientação da fachada, bem como a sua localização.

4.4.2.1. Influência da orientação nas condensações superficiais exteriores

Com o intuito de clarificar a diferença do número de horas em que ocorrem condensações superficiais exteriores nos elementos construtivos, para as diferentes orientações, em cada um dos climas analisados, construiu-se o gráfico apresentado na figura 4.4.

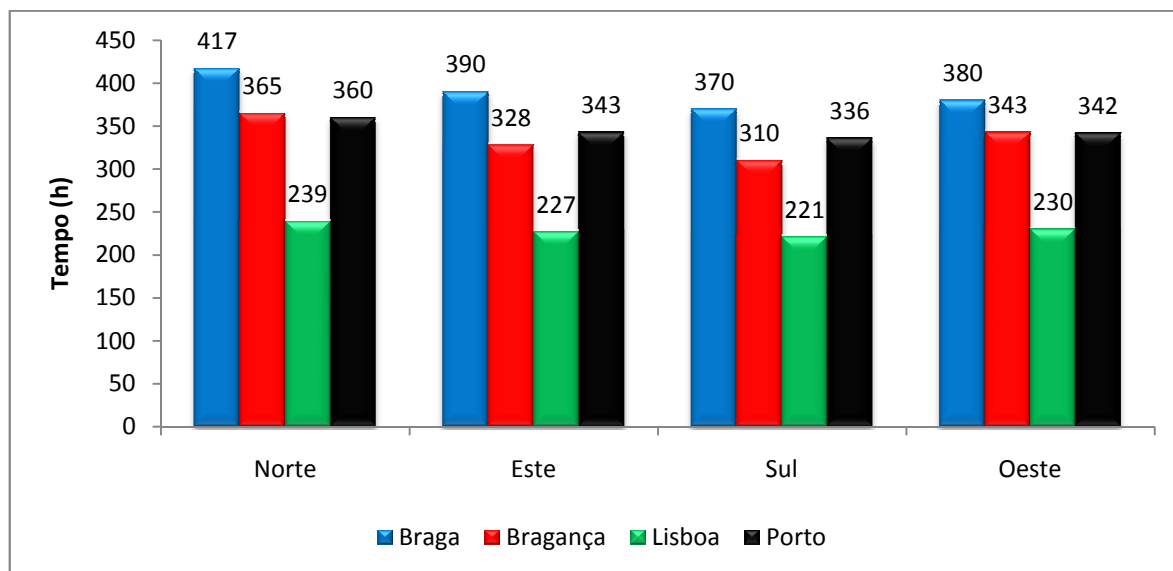


Fig. 4.4 – Influência da orientação nas condensações superficiais exteriores na parede ETICS

Analisando a imagem anterior (figura 4.4) nota-se uma grande diferença entre o potencial de condensações das fachadas voltadas a Norte e o das fachadas orientadas a Sul, que é claramente mais elevado para as fachadas voltadas a Norte em todos os climas estudados. As paredes voltadas a Este e Oeste apresentam resultados compreendidos entre os resultados das orientações Norte e Sul, sendo que a predominância de condensações numa destas orientações depende do clima onde se inserem. Assim a fachada a Este apresenta um maior número de horas em que ocorrem condensações do que a mesma fachada a virada a Oeste para os cidades de Braga e Porto, o contrário sucede para os climas de Bragança e Lisboa.

4.4.2.2. Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS

Com o intuito de perceber como a orientação influencia o teor de humidade, da camada exterior da parede com isolamento pelo exterior, elaborou-se, para cada um dos climas, um gráfico com as frequências acumuladas do teor de humidade (figuras 4.5 a 4.8).

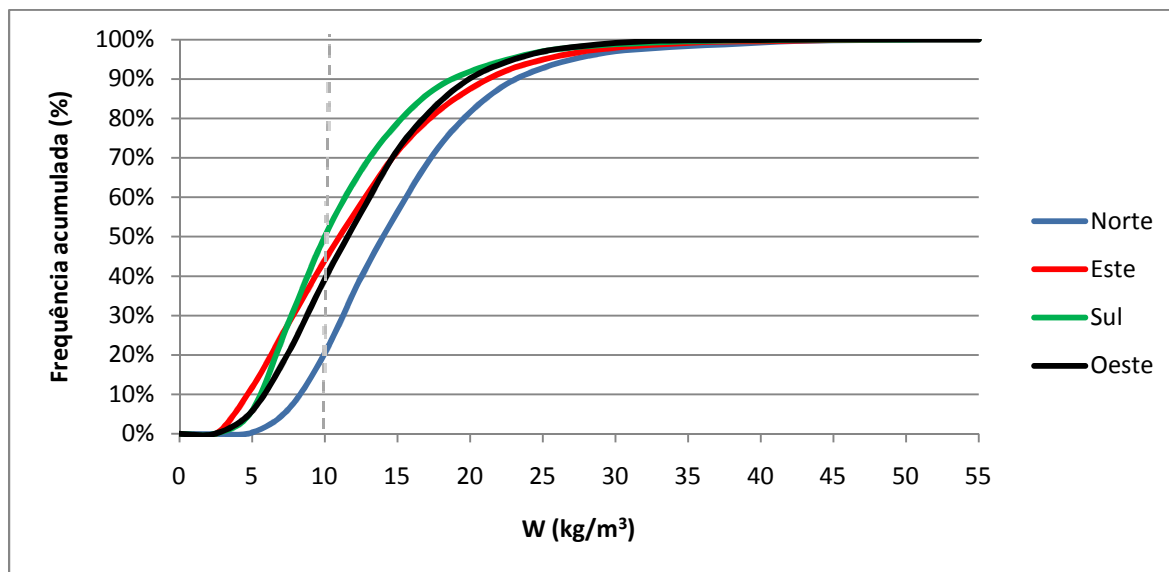


Fig. 4.5 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Braga)

Através do gráfico, correspondente ao clima de Braga, observa-se que o teor de humidade de referência é ultrapassado em 79.5%, 60.8%, 56.0% e 50.0% do tempo, respectivamente, para as fachadas voltadas a Norte, Oeste, Este e Sul.

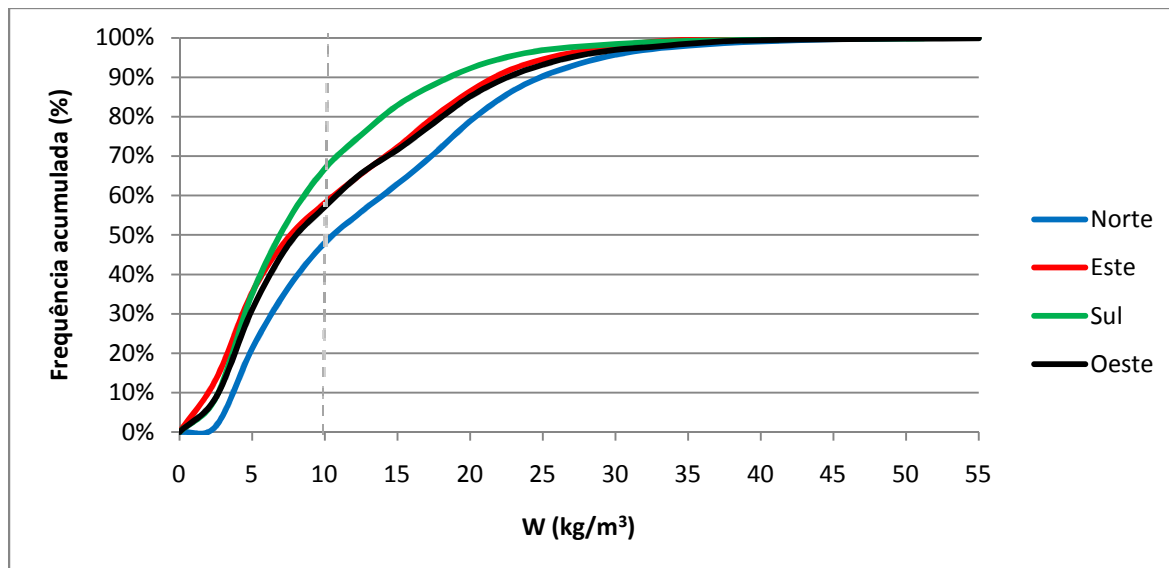


Fig. 4.6 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Bragança)

Para o clima de Bragança, o teor de humidade de referência é ultrapassado em 52,0%, 42,9%, 42,0% e 33,3% do tempo, respectivamente, para as fachadas voltadas a Norte, Oeste, Este e Sul.

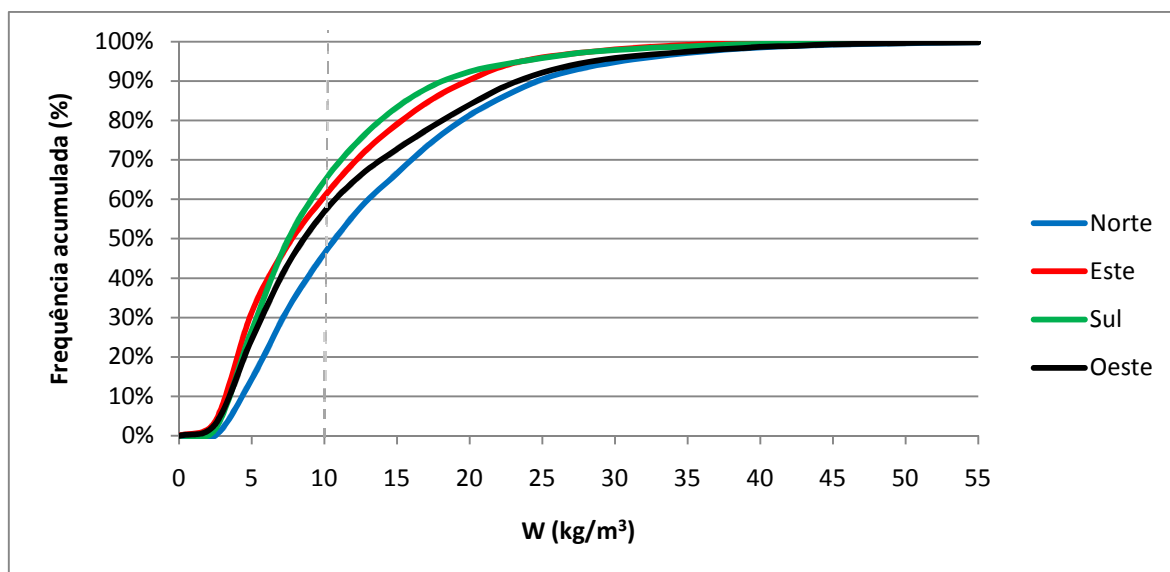


Fig. 4.7 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Lisboa)

Em Lisboa, o teor de humidade de referência é ultrapassado em 53,8%, 43,1%, 39,4% e 35,4% do tempo, respectivamente, para as fachadas voltadas a Norte, Oeste, Este e Sul.

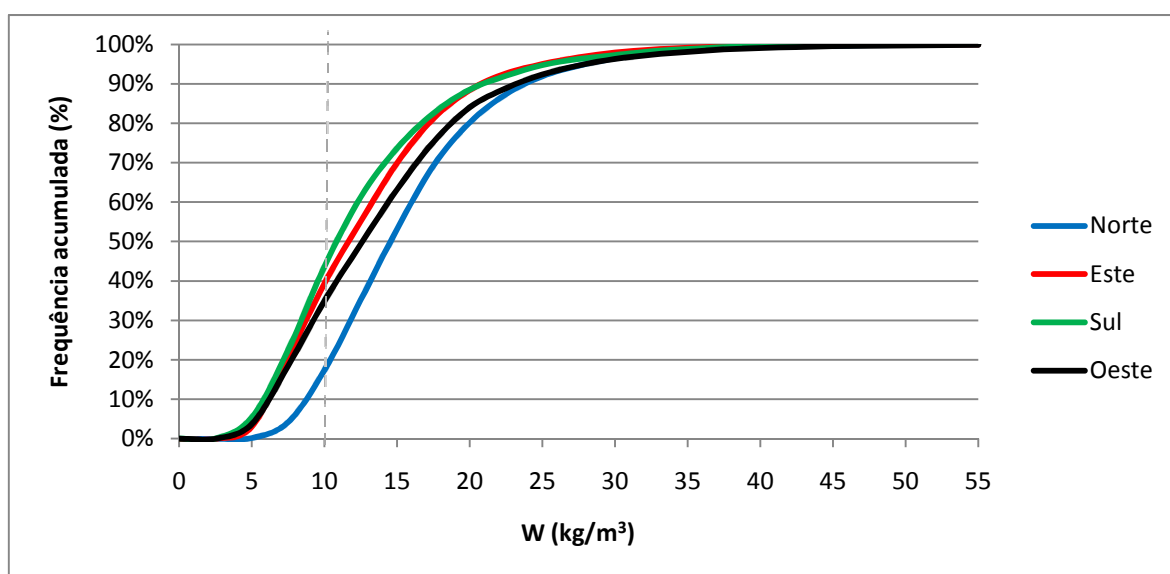


Fig. 4.8 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Porto)

No Porto, o teor de humidade de referência é ultrapassado em 82,7%, 60,7%, 56,4% e 65,1% do tempo, respectivamente, para as fachadas voltadas a Norte, Oeste, Este e Sul.

4.4.2.3. Análise crítica dos resultados

Em Portugal, de acordo com a sua situação geográfica, o quadrante Sul é aquele que recebe maior radiação solar ao longo do dia. Por oposição, o quadrante Norte será aquele que menor quantidade de radiação solar directa recebe, chegando mesmo a não receber radiação. Nos meses de inverno, a Nascente verifica-se a radiação solar directa ao longo do período da manhã, contrariamente a Poente que só receberá radiação solar directa no período da tarde. Deste modo, e como se concluiu no ponto 4.4.2.1, as fachadas voltadas a Norte apresentam maior risco de ocorrência de condensações superficiais, enquanto as paredes voltadas a Sul apresentam menor risco de condensações. Pois a radiação solar ao incidir nas superfícies faz aumentar a temperatura a que estas se encontram, diminuindo o risco de condensação.

Observou-se ainda que as paredes voltadas a Este e Oeste apresentam resultados compreendidos entre os resultados das orientações Norte e Sul, sendo que a predominância de condensações numa destas orientações depende da sua localização.

De modo a acrescentar informação à análise anterior, elaboram-se os gráficos apresentados de seguida, que ilustram como a incidência da radiação solar faz variar a temperatura das superfícies exteriores, Tse, das paredes ao longo de um dia, e consequentemente o processo de secagem. E por outro lado, como a humidificação pela chuva incidente varia segundo os quatro pontos cardeais.

Importa salientar que estes gráficos referem-se a um dia médio do mês de Fevereiro. As simulações realizadas correspondem à situação base localizada no Porto, com chuva e sem chuva. Com este fim, retirou-se do ficheiro climático os dados relativos a precipitação com o intuito de compreender qual a sua influência no teor de humidade presente na camada exterior da parede.

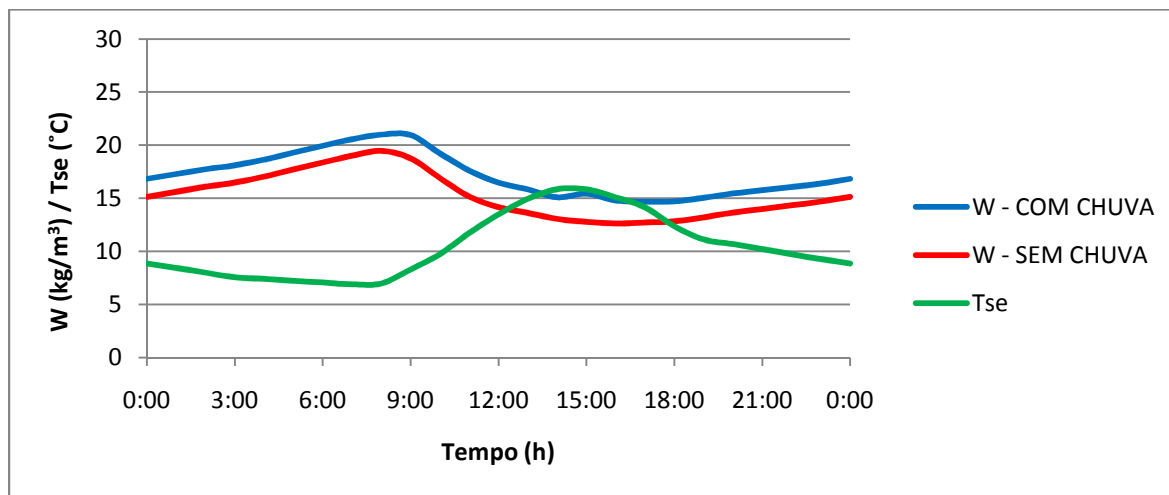


Fig. 4.9 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede ETICS - Norte)

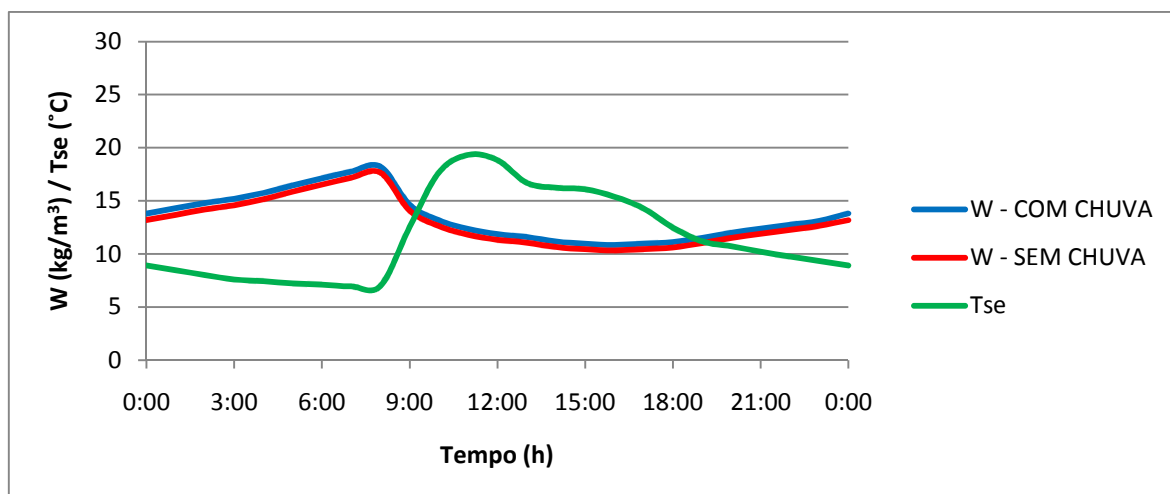


Fig. 4.10 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede ETICS - Este)

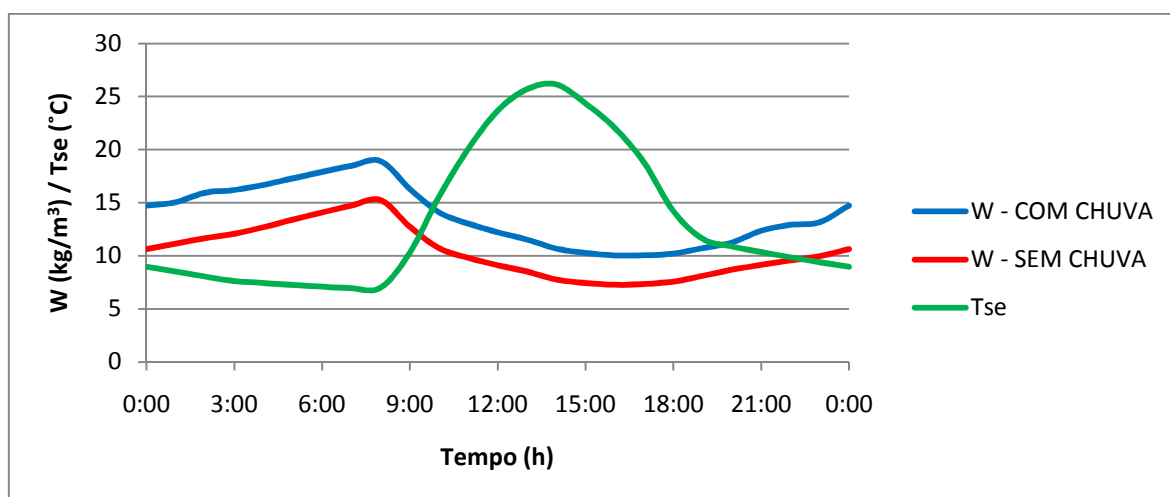


Fig. 4.11 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede ETICS - Sul)

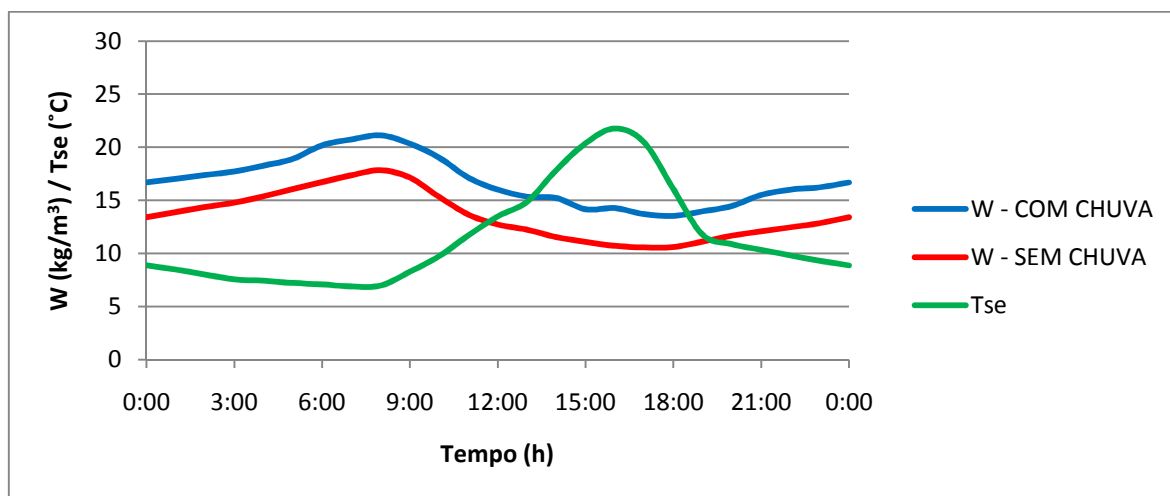


Fig. 4.12 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede ETICS - Oeste)

Analisando as figuras anteriores e tendo em mente as conclusões retiradas no ponto 4.2.2.2 constata-se que, nas fachadas Norte e Este, o parâmetro que mais influencia o teor de humidade da camada exterior é a condensação, enquanto na fachada Sul e Oeste a humedificação pela chuva incidente tem maior relevância.

Nas fachadas Sul e Este o efeito da secagem é mais intenso, atenuando o teor de humidade à superfície resultante da condensação e da chuva incidente. Tal deve-se à incidência da radiação solar directa que, nestas fachadas se inicia no período da manhã. Fazendo com que o teor de humidade superficial que aumenta progressivamente durante a noite, devido às condensações e à ausência de radiação solar, não atinja valores tão elevados como para as outras orientações e decresça mais rapidamente.

A degradação do aspecto exterior das fachadas, devido ao crescimento de microrganismos (algas e fungos), é fortemente influenciada pela sua orientação. Sendo a presença de humidade à superfície a principal causa para o aparecimento de microrganismos, conclui-se, tendo em conta a análise feita, que as paredes voltadas a Norte e a Oeste apresentam um maior risco do seu aparecimento.

4.4.3. INFLUÊNCIA DA COR DA PAREDE

Com o objectivo de perceber a influência da cor da parede nas condensações e no teor de humidade à superfície estudaram-se duas cores para a parede, uma clara e outra escura, com coeficientes de absorção de 0.4 e 0.8, respectivamente.

Com este fim, realizaram-se as simulações numéricas partindo-se da situação base e variando a cor da fachada, bem como a sua localização.

4.4.3.1. Influência da cor nas condensações superficiais exteriores

De modo a tornar mais perceptível a diferença da quantidade de horas em que ocorrem condensações superficiais exteriores nas fachadas para as cores do revestimento estudadas em cada um dos climas, construiu-se o gráfico apresentado na figura 4.3.

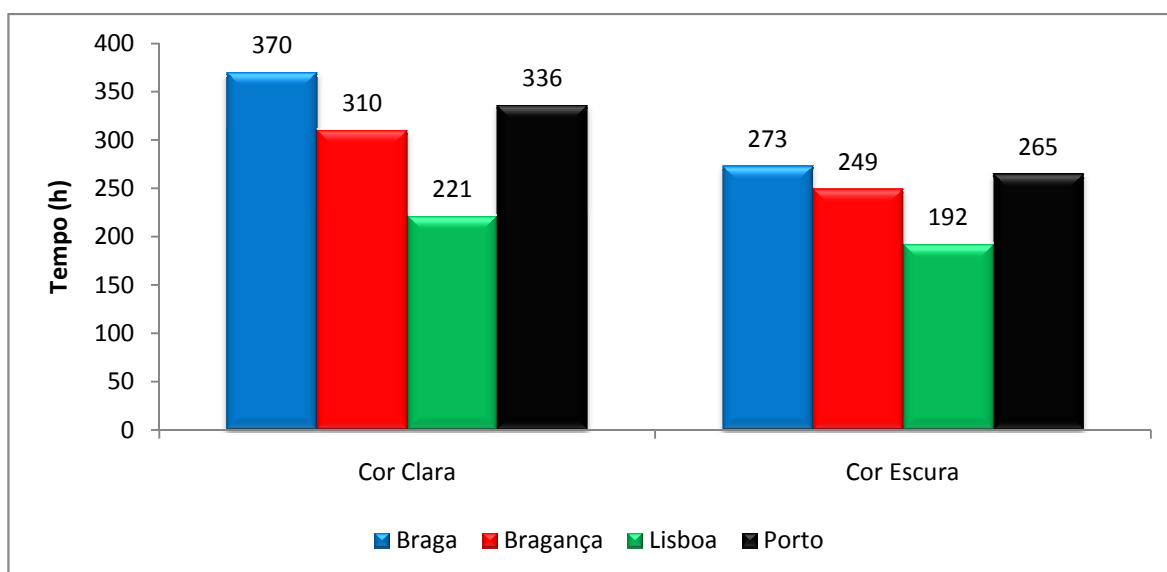


Fig. 4.13 – Influência da cor nas condensações superficiais exteriores na parede ETICS

Da análise do gráfico anterior observa-se que, em qualquer um dos climas as paredes de cor clara têm maior risco de ocorrência de condensações. De notar que nas paredes de cor escura a influência do clima não se faz sentir de forma tão notória como nas paredes de cor clara.

4.4.3.2. Influência da cor no teor de humidade da camada exterior

Com o objectivo de perceber como a cor da fachada influencia o teor de humidade da camada exterior elaboraram-se os gráficos seguintes.

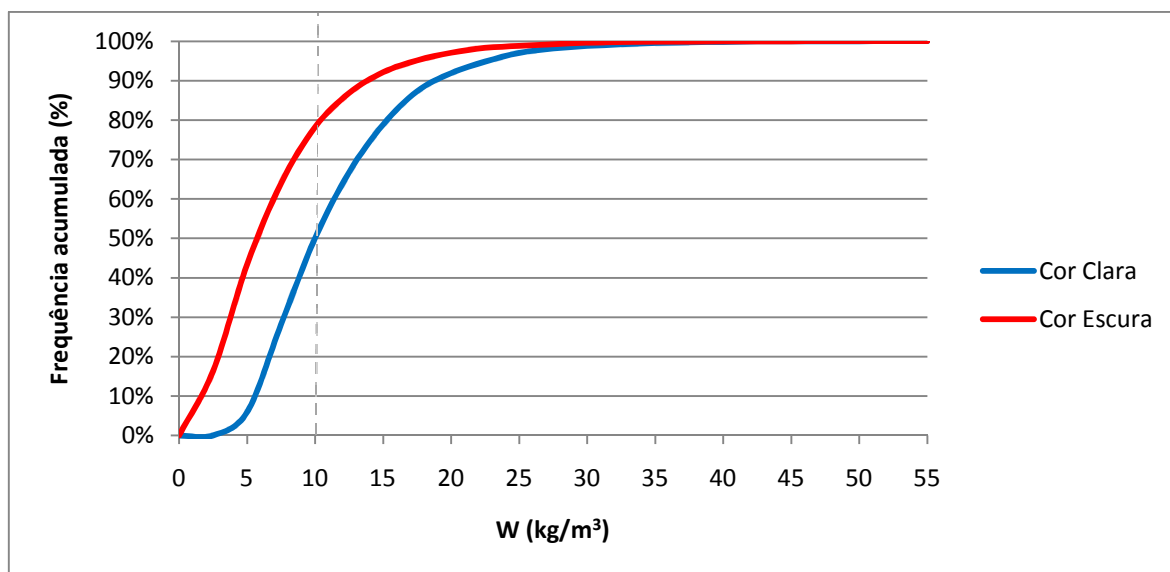


Fig. 4.14 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Braga)

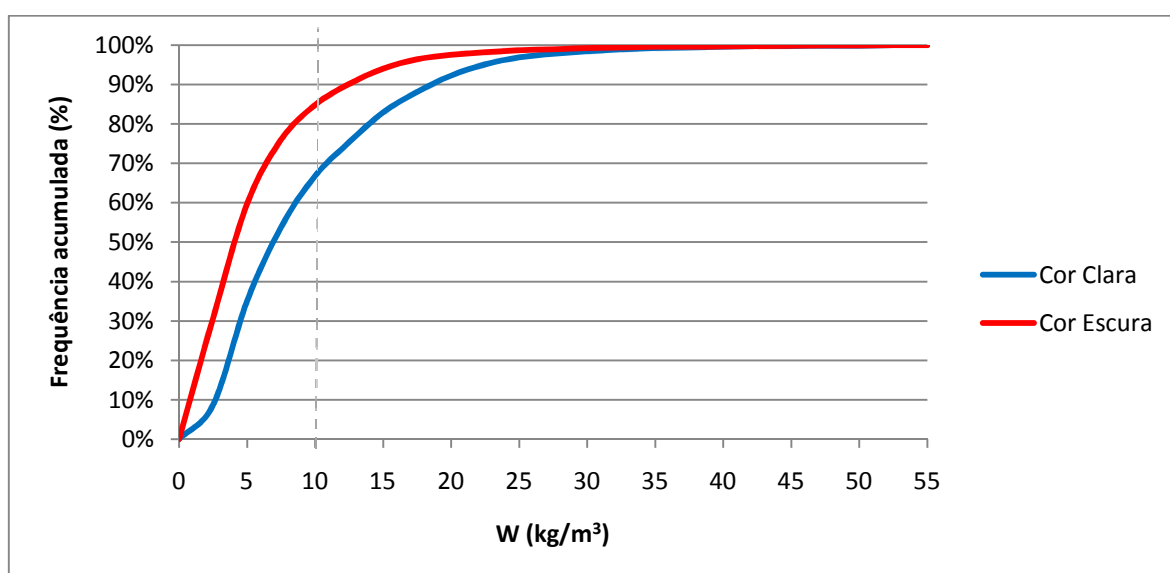


Fig. 4.15 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Bragança)

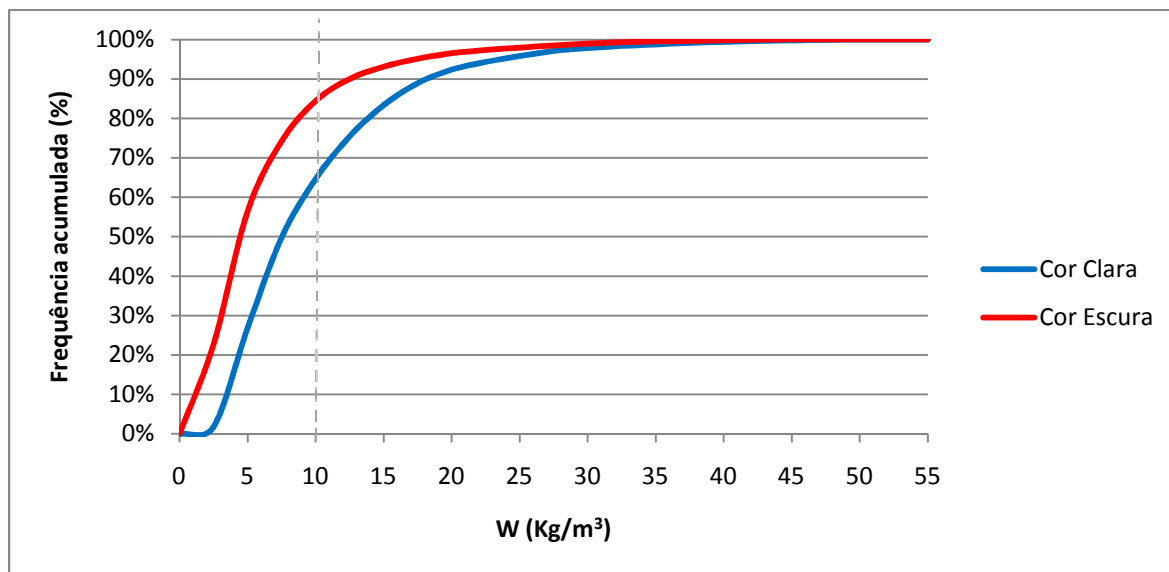


Fig. 4.16 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Lisboa)

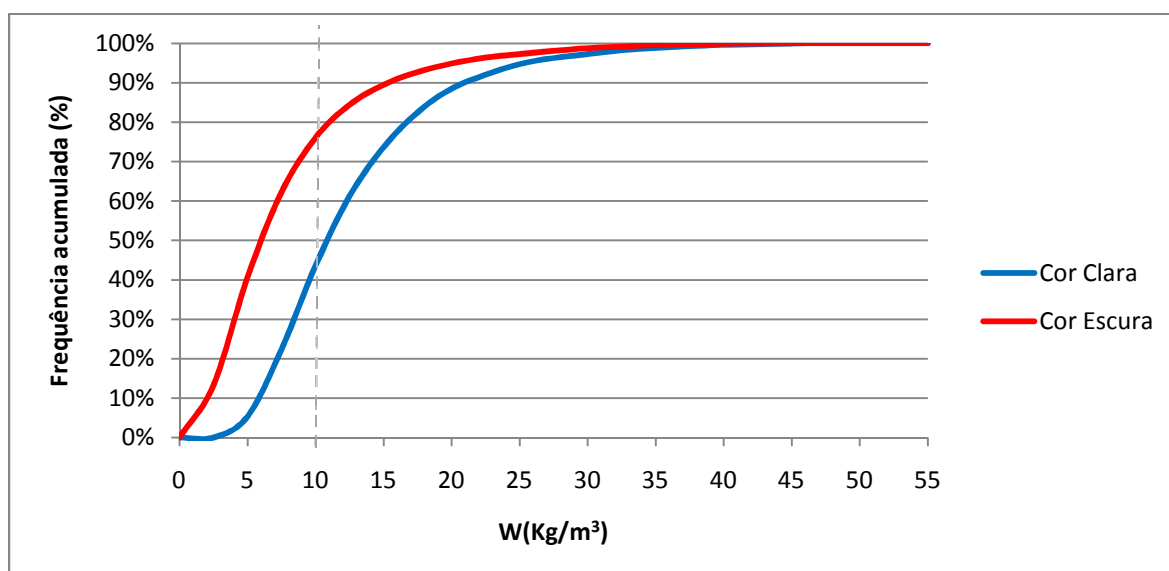


Fig. 4.17 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Porto)

Após o estudo dos gráficos anteriores torna-se evidente que, as fachadas de cor clara permanecem ao longo do ano com teores de humidade à superfície muito mais elevados do que as fachadas de cor escura.

4.4.3.3. Análise crítica dos resultados

Como se observou no ponto 4.4.3.1 as fachadas de cor clara apresentam maior risco de ocorrência de condensações superficiais, isto porque fachadas claras têm um coeficiente de absorção solar menor do que as fachadas escuras. Ou seja, as fachadas claras absorvem menos energia solar, logo as temperaturas superficiais serão também mais baixas, aumentando o risco de condensações.

Para além de o risco de condensação ser menor nas fachas escuras, estas também secam mais rapidamente pois estão sujeitas a temperaturas mais elevadas. Assim, a diferença entre o teor de humidade à superfície nas fachadas claras e escuras é tanto maior quanto maior for a incidência de radiação solar directa na fachada.

A cor influencia bastante o comportamento higrotérmico de uma fachada, na medida em que, consoante a cor do elemento, o teor de humidade à superfície sofre alterações significativas. Desta análise, e tendo em conta que o aparecimento de microrganismos está fortemente relacionado com o teor de humidade à superfície, conclui-se que as fachadas de cor clara apresentam maior risco de aparecimento de microrganismos.

4.4.4. INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DO ISOLAMENTO TÉRMICO

Para se perceber a influência da espessura do isolamento térmico nas condensações e no teor de humidade à superfície aumentou-se a espessura do isolamento térmico de 5cm para 8cm.

4.4.4.1. Influência da espessura do isolamento térmico nas condensações superficiais exteriores

Para que seja legível a diferença de horas em que ocorrem condensações nas paredes com as espessuras de isolamento estudadas, obtiveram-se os seguintes gráficos.

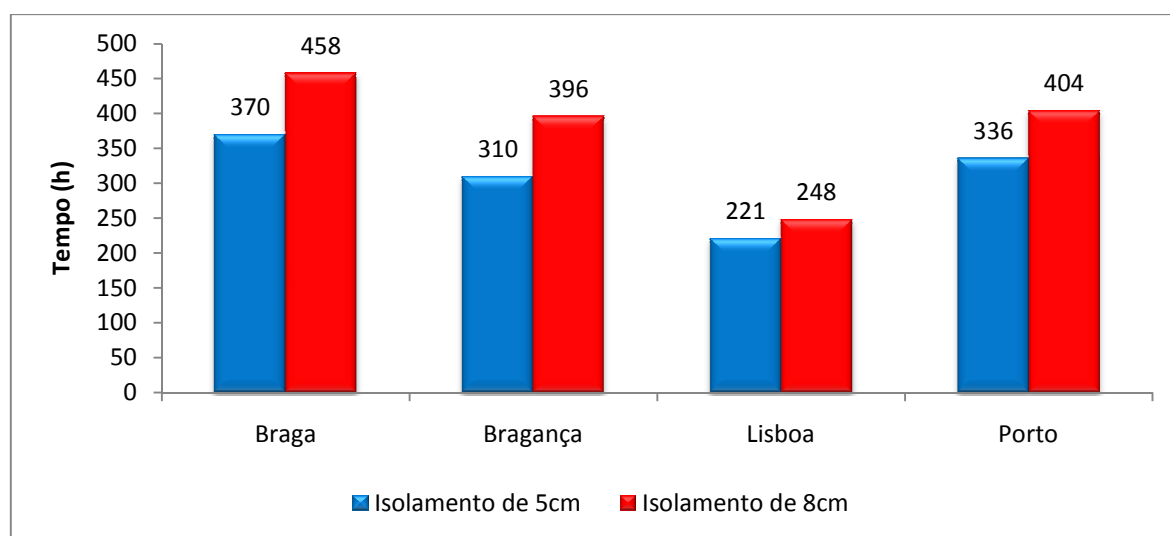


Fig. 4.18 – Influência da espessura de isolamento térmico nas condensações superficiais na parede ETICS

Da visualização dos gráficos anteriores rapidamente se constata que, para espessuras de isolamento maiores, maior é o número de horas em que ocorrerem condensações.

4.4.4.2. Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior

Para o estudo da influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade à superfície, obtiveram-se os gráficos seguintes.

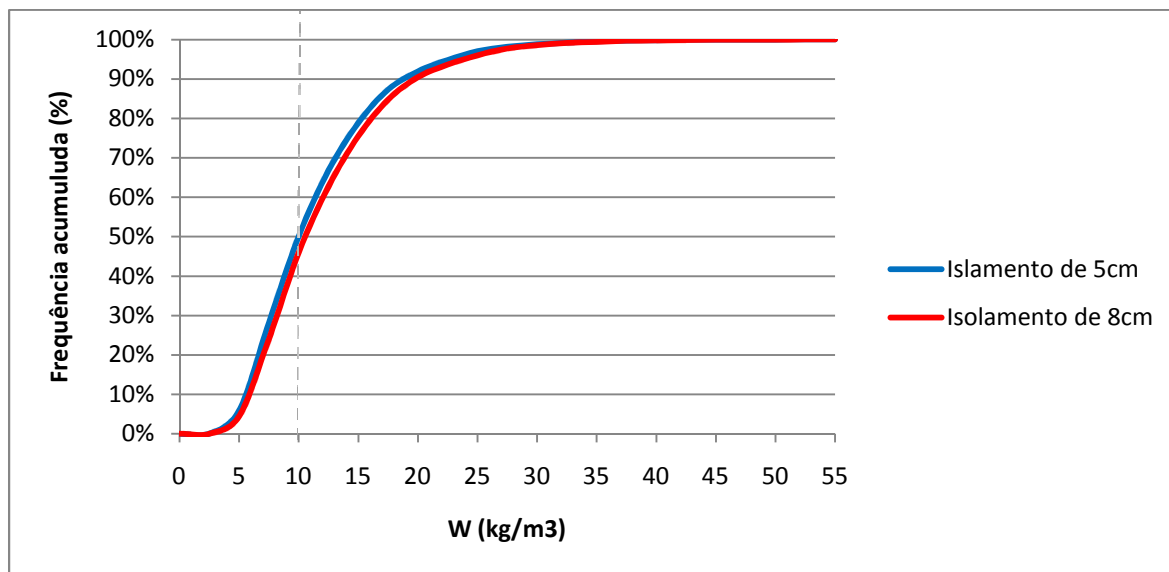


Fig. 4.19 – Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Braga)

No gráfico anterior, correspondente ao clima de Braga, observa-se que o teor de humidade de referência é ultrapassado em 50.0% e 54.1% do tempo, respectivamente, para as paredes com 5cm e 8cm de isolamento térmico.

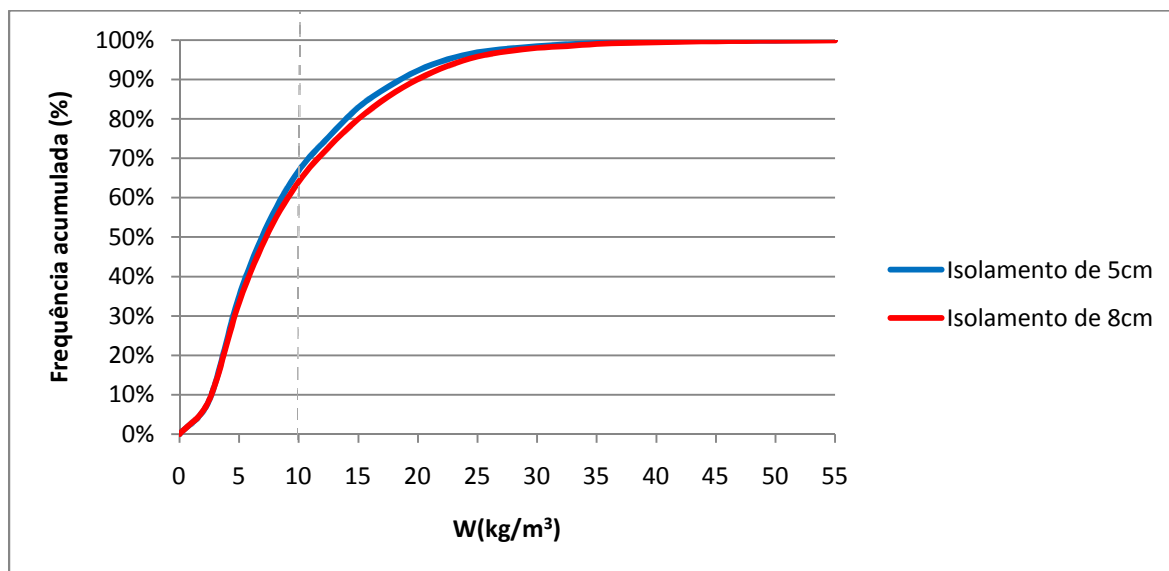


Fig. 4.20 – Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Bragança)

Em Bragança o teor de humidade de referência é ultrapassado em 33,3% e 36,0% do tempo, respectivamente, para as paredes com 5cm e 8cm de isolamento térmico.

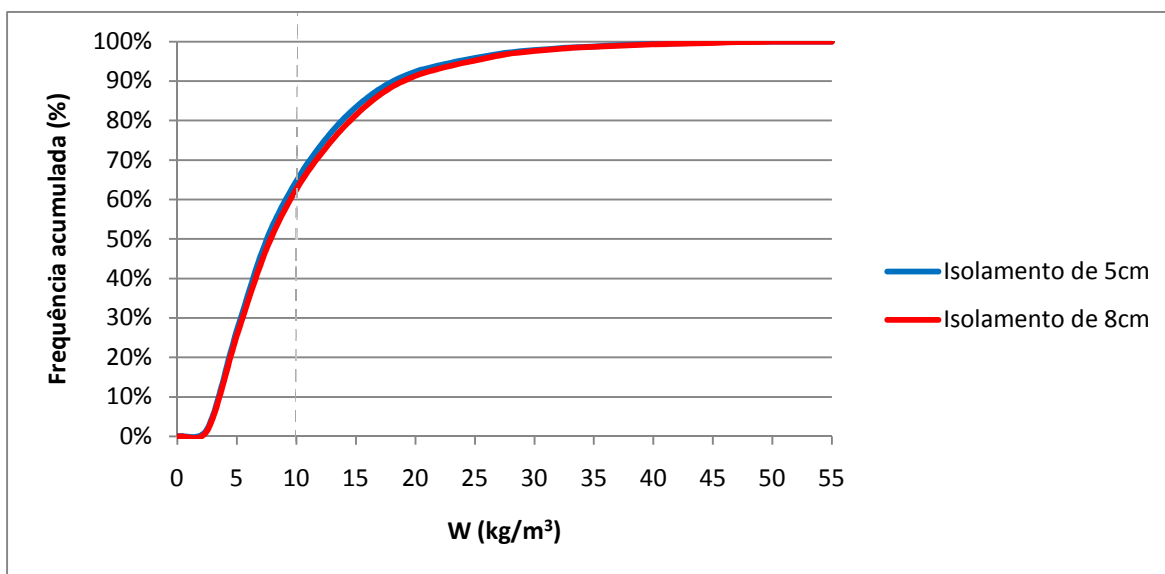


Fig. 4.21 – Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Lisboa)

Em Lisboa o teor de humidade de referência é ultrapassado em 35,4% do tempo na parede com 5 cm de isolamento térmico e em 37,4% na parede com 8cm de isolamento térmico.

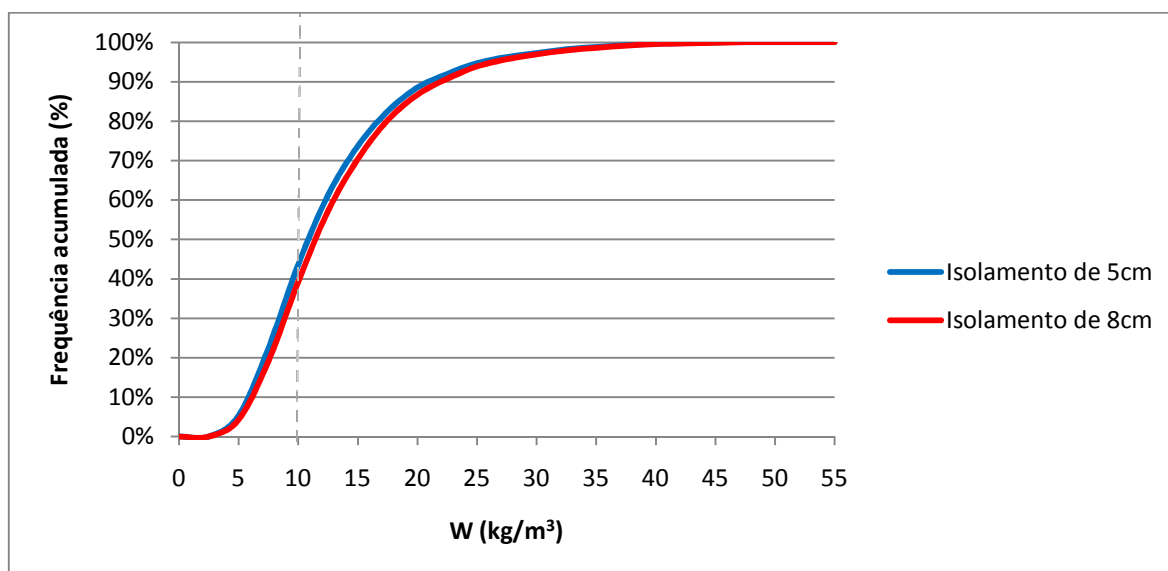


Fig. 4.22 – Influência da espessura do isolamento térmico no teor de humidade da camada exterior da parede ETICS (Porto)

No Porto o teor de humidade de referência é ultrapassado em 56,4% e 60,8% do tempo, respectivamente, para as paredes com 5cm e 8cm de isolamento térmico.

Deste estudo, constata-se as paredes com isolamento térmico de 8cm permanecem ao longo do ano com teores de humidade à superfície ligeiramente mais elevados que as paredes em que a espessura do isolamento era apenas de 5cm.

4.2.4.3. Análise crítica dos resultados

A ocorrência de condensações superficiais em maior escala na parede com espessura de isolamento térmico de 8cm justifica-se com a diminuição da temperatura à superfície. Uma vez que, aumentado a espessura do isolamento térmico se diminui o coeficiente de transmissão térmica e consequentemente a quantidade de calor transferida do interior para o exterior, assim, a temperatura superficial exterior permanece mais baixa.

Este aumento das condensações superficiais provoca um acréscimo no teor de humidade à superfície, que é, ainda, agravado pelo processo de secagem, que se torna mais lento devido a diminuição da temperatura superficial.

Compreende-se assim, que a utilização de espessuras de isolamento maiores no sistema ETICS aumenta o risco de aparecimento de microrganismos.

4.5. RESULTADOS - PAREDE DUPLA

O estudo para a parede dupla foi efectuado forma análoga ao que foi feito para a parede ETICS.

4.5.1. INFLUÊNCIA DO CLIMA

De forma a avaliar a influência do clima nas condensações superficiais exteriores e no teor de humidade da camada superficial exterior realizaram-se várias simulações, variando entre elas o clima exterior.

Definiu-se para o efeito a situação base, parede dupla orientada a sul com revestimento de cor clara, e fez-se variar a sua localização.

4.5.1.1. Influência do clima nas condensações superficiais exteriores

Com o intuito de tornar mais perceptível a diferença da quantidade de horas em que ocorrem condensações superficiais exteriores na parede dupla nos diferentes climas, elaborou-se o gráfico apresentado na figura 4.23.

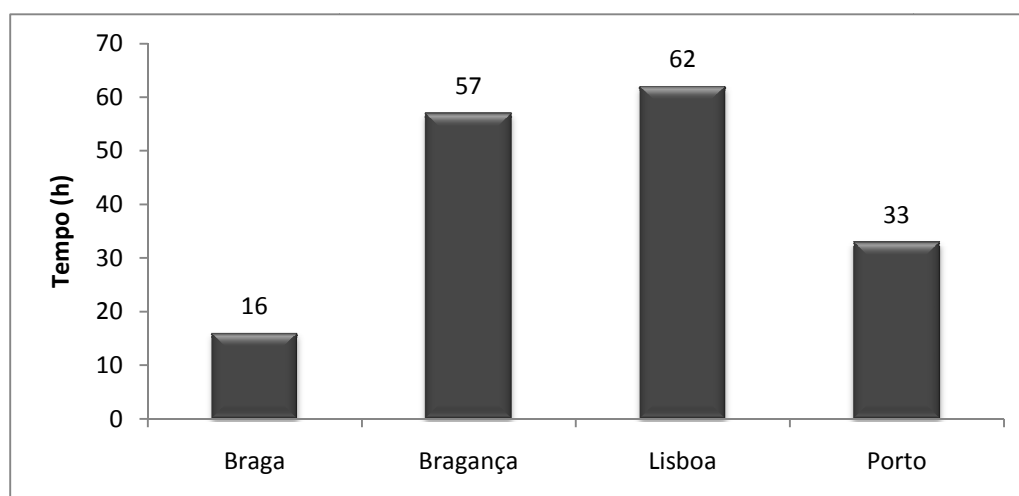


Fig. 4.23 – Influência do clima nas condensações superficiais exteriores na parede dupla

Observando a figura 4.23 verifica-se que o clima de Lisboa, de entre os analisados, é aquele que apresenta maior número de horas em que ocorrem condensações na superfície exterior da parede dupla, o contrário acontece com o clima de Braga, em que o período de tempo em que ocorrerem condensações é menor.

4.5.1.2. Influência do clima no teor de humidade da camada exterior da parede dupla

Para se perceber a influência do clima no teor de humidade da camada exterior da parede dupla construiu-se a curva de frequências acumuladas referente a este parâmetro, figura 4.24.

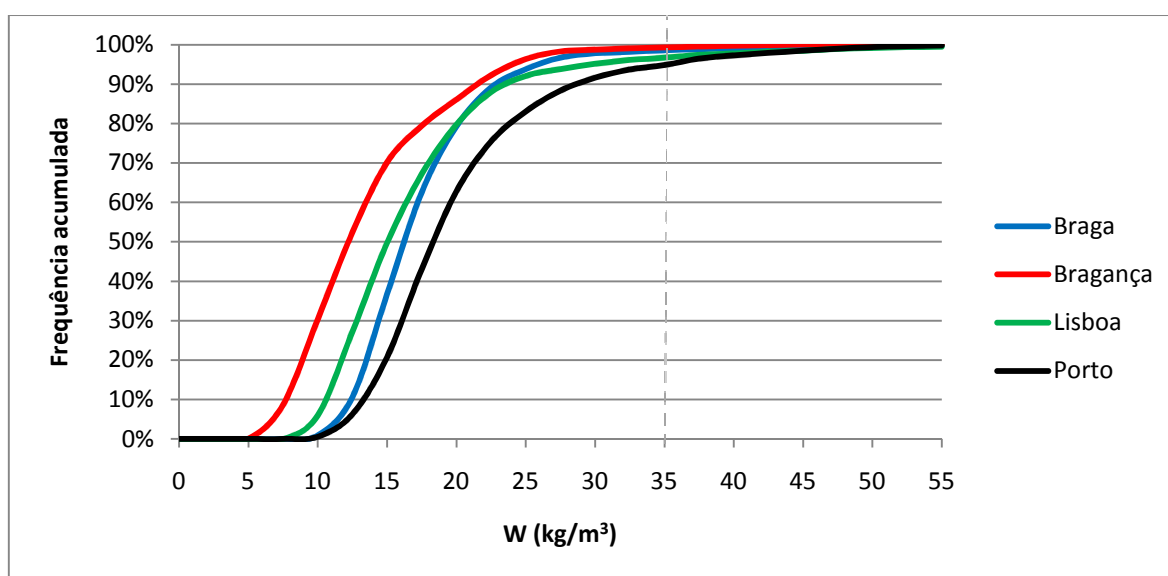


Fig. 4.24 – Influência do clima no teor de humidade da camada exterior da parede dupla

Tendo em conta que o teor de humidade de referência, correspondente a uma humidade relativa de 80%, é 35 kg/m³, observa-se no gráfico que é ultrapassado em 5.2%, 3.4%, 0.7% e 0.6% do tempo, respectivamente para os climas de Porto, Lisboa, Braga e Bragança.

4.5.1.3. Análise crítica dos resultados

Dos resultados obtidos nos pontos anteriores, verifica-se que Bragança apesar de ser, a par de Lisboa, a cidade que apresenta maior número de horas em que ocorrem condensações superficiais é aquela em que o teor de humidade se apresenta mais baixo ao longo do tempo. Isto implica que a humedificação pela chuva incidente seja menos importante neste clima e/ou o processo de secagem mais intenso.

Desta análise, e de forma análoga ao discutido para a parede ETICS, conclui-se que os climas de Lisboa e Porto, devido às temperaturas amenas e humidades relativas muito elevadas específicas destes climas, serão os mais propícios ao aparecimento de microrganismos. Por outro lado, Bragança será o local onde este problema menos se fará sentir.

4.5.2. INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO

Neste ponto as simulações numéricas realizadas têm por objectivo compreender como a orientação das fachadas influencia as condensações e o teor de humidade na superfície exterior destas, em cada um dos climas.

4.5.2.1. Influência da orientação nas condensações superficiais exteriores

Com o intuito de clarificar a diferença da quantidade de horas em que ocorrem condensações superficiais exteriores nos elementos construtivos para as diferentes orientações em cada um dos climas, construiu-se o gráfico apresentado na figura 4.25.

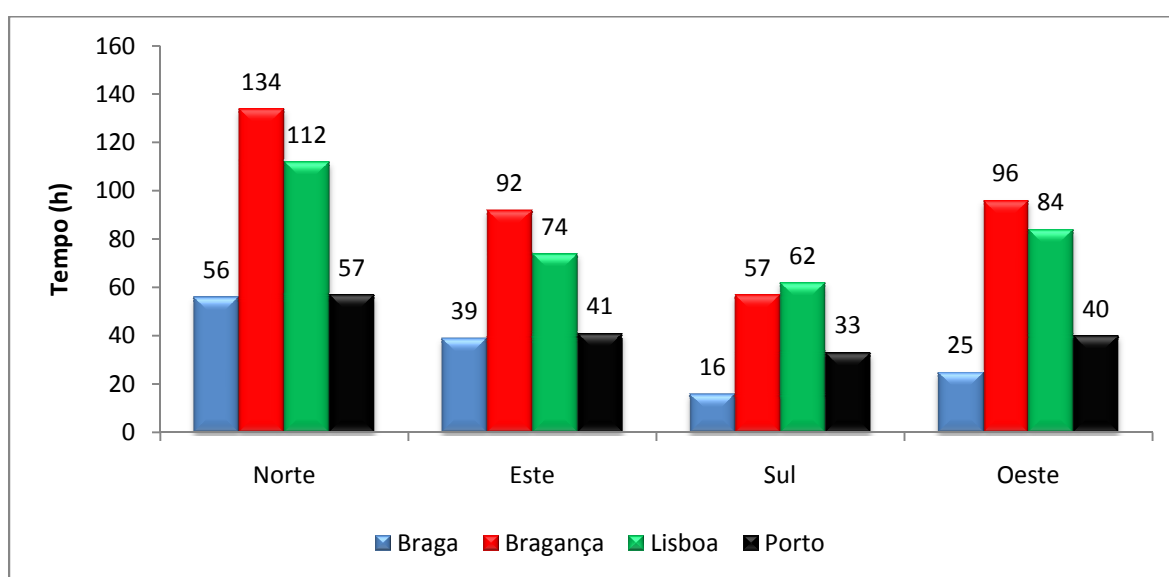


Fig. 4.25 – Influência da orientação nas condensações superficiais exteriores na parede dupla

Analisando a imagem anterior nota-se uma grande diferença entre o potencial de condensações das fachadas voltadas a Norte e o das fachadas orientadas a Sul, claramente mais elevado para as fachadas voltadas a Norte em todos os climas estudados. As paredes voltadas a Este e Oeste apresentam resultados compreendidos entre os resultados das orientações Norte e Sul, sendo que a predominância de condensações numa destas orientações depende do clima onde se inserem.

4.5.2.2. Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla

Com o intuito de perceber como a orientação influencia o teor de humidade da camada exterior da parede dupla elaborou-se, para cada um dos climas, um gráfico com as frequências acumuladas do teor de humidade.

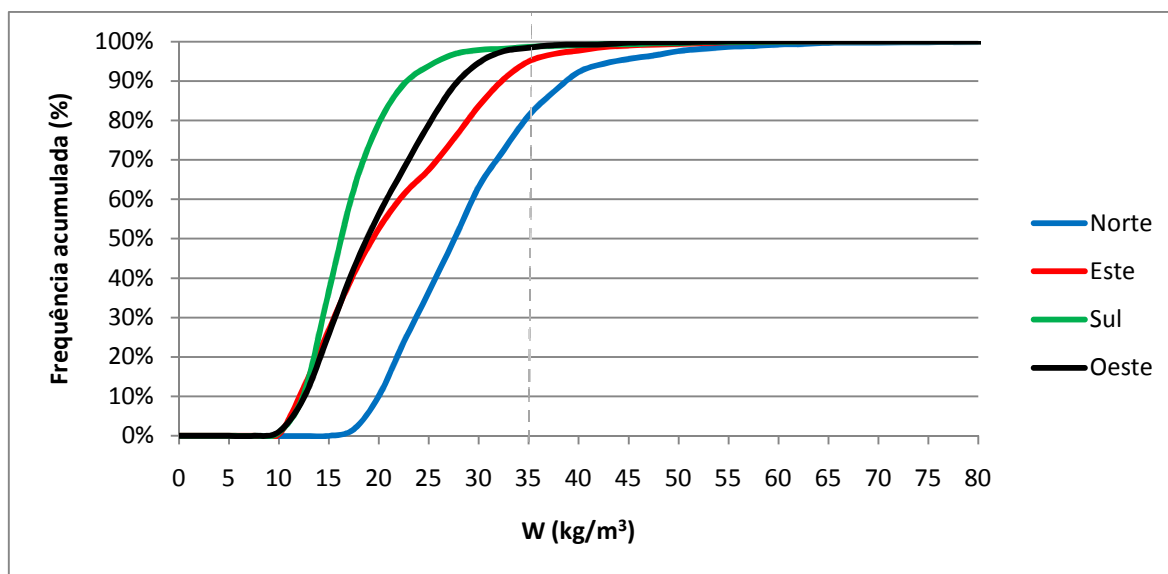


Fig. 4.26 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Braga)

No gráfico anterior, observa-se que em Braga o teor de humidade de referência é ultrapassado em 18.8%, 5.1%, 1.6% e 1.4% do tempo, respectivamente, para as fachadas voltadas a Norte, Este, Oeste e Sul.

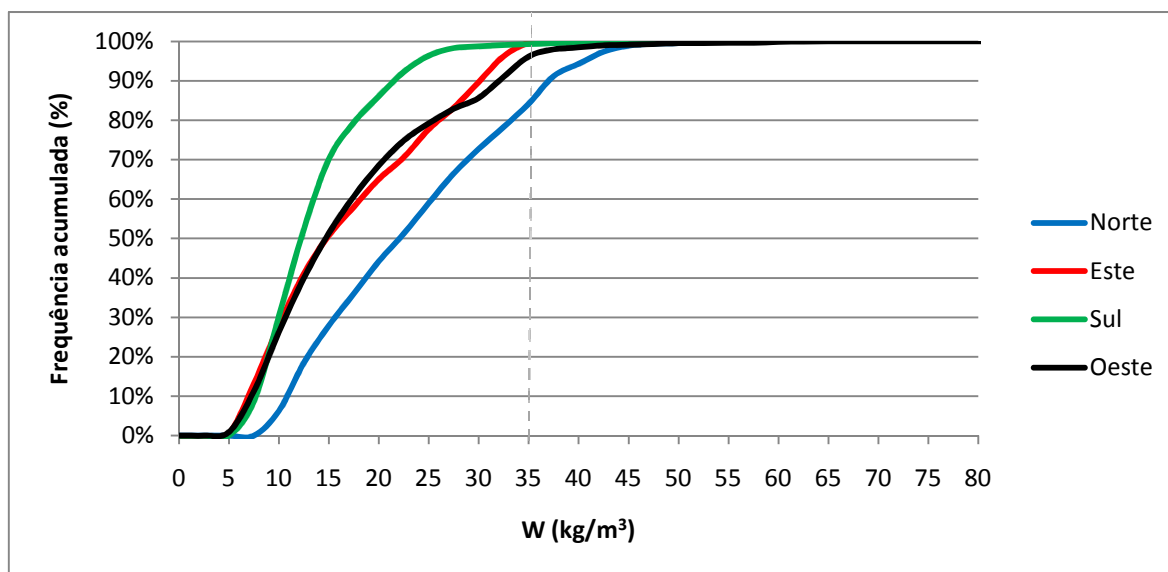


Fig. 4.27 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Bragança)

Para o clima de Bragança, o teor de humidade de referência é ultrapassado em 15.9%, 3.9%, 0.7% e 0.5% do tempo, respectivamente, para as fachadas voltadas a Norte, Oeste, Sul e Este.

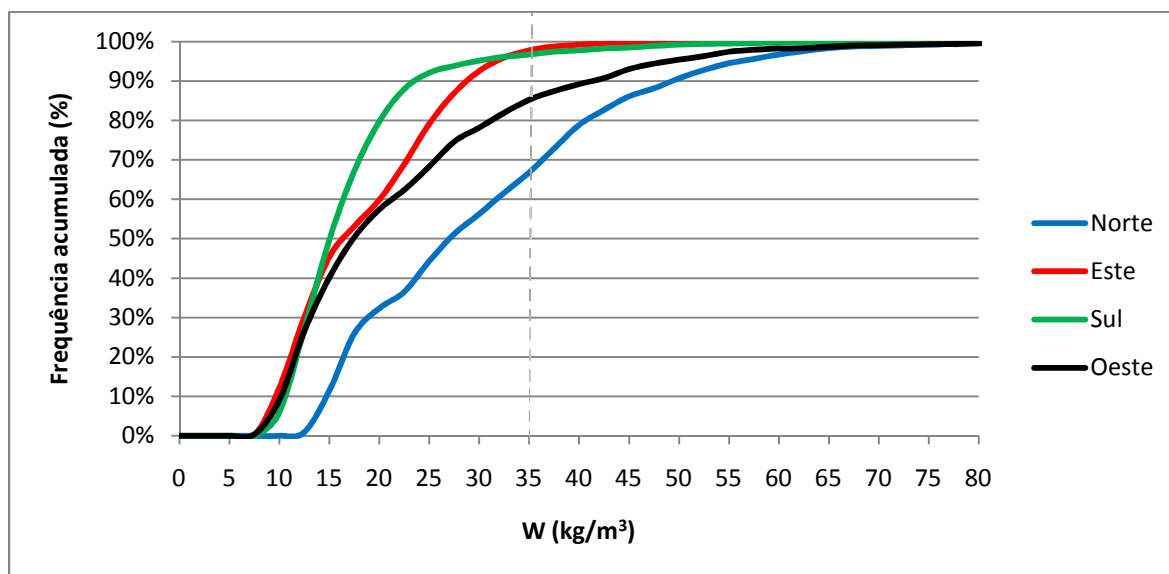


Fig. 4.28 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Lisboa)

Em Lisboa, o teor de humidade de referência é excedido em 33.2%, 14.8%, 3.4% e 2.3% do tempo, respectivamente, para as fachadas voltadas a Norte, Oeste, Sul e Este.

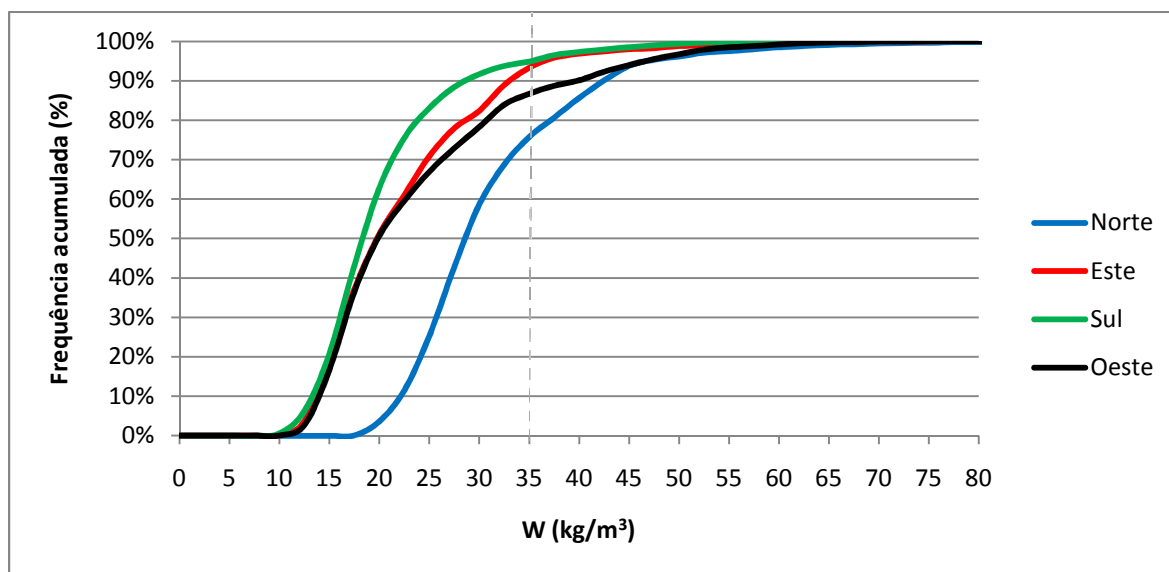


Fig. 4.29 – Influência da orientação no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Porto)

No Porto, o teor de humidade de referência é ultrapassado em 24.3%, 13.4%, 6.8% e 5.2% do tempo, respectivamente, para as fachadas voltadas a Norte, Oeste, Este e Sul.

Da análise dos gráficos anteriores conclui-se que as fachadas voltadas a Norte e a Oeste são aquelas que apresentam períodos de tempo maiores em que o teor de humidade é superior ao teor de humidade de referência. Com a exceção do clima de Braga em que as fachadas voltadas a Nascente apresentam teores de humidade elevados durante mais tempo do que as paredes orientadas a Poente.

4.5.2.3. Análise crítica dos resultados

Como se conclui no ponto 4.3.2.1 as fachadas voltadas a Norte apresentam maior risco de ocorrência de condensações superficiais, enquanto as paredes voltadas a Sul apresentam o menor risco de condensações. Tal facto deve-se à posição do sol que, em determinadas horas do dia, potencia uma maior incidência de radiação solar directa nas fachadas, verificando-se assim uma maior incidência de radiação na fachada voltada a Sul e o oposto na fachada orientada a Norte.

De modo idêntico ao realizado na parede ETICS, construíram-se os gráficos abaixo para se ter uma percepção de como as condensações superficiais, a chuva incidente e o processo de secagem influenciam o teor de humidade da camada superficial da parede dupla segundo as quatro orientações estudadas.

Estes gráficos referem-se a um dia médio do mês de Fevereiro. As simulações realizadas correspondem à parede dupla de cor clara localizada no Porto.

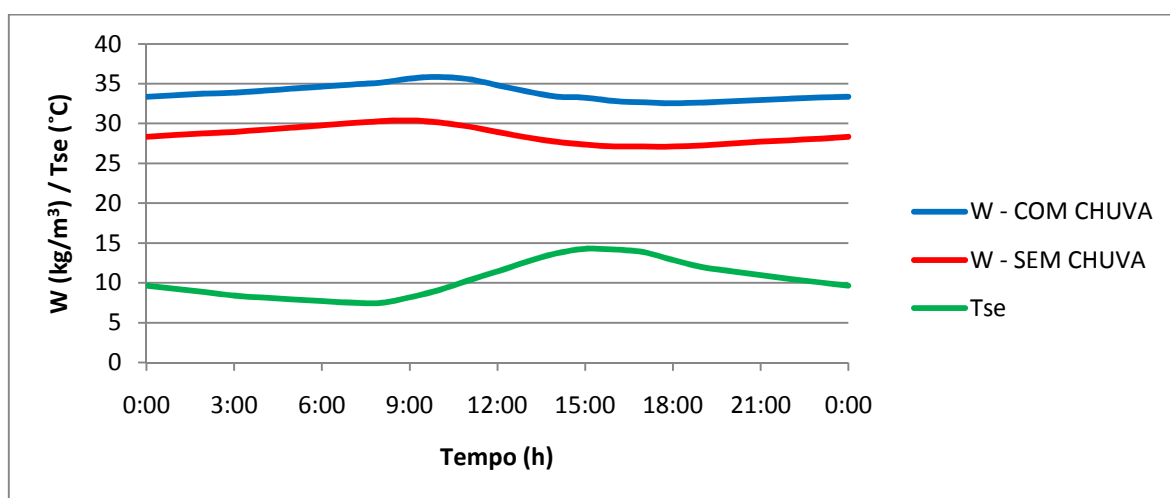


Fig. 4.30 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede Dupla – Norte)

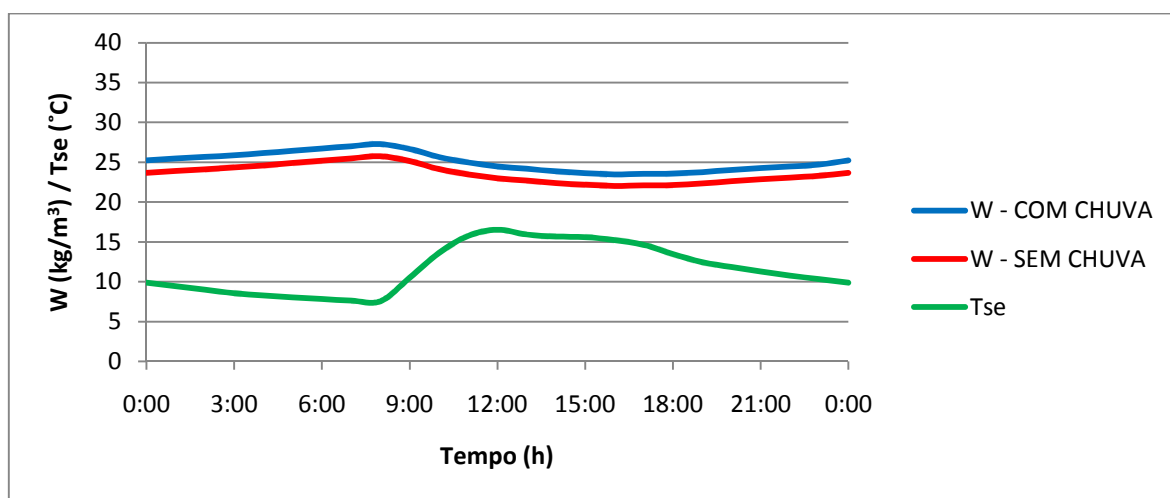


Fig. 4.31 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede Dupla – Este)

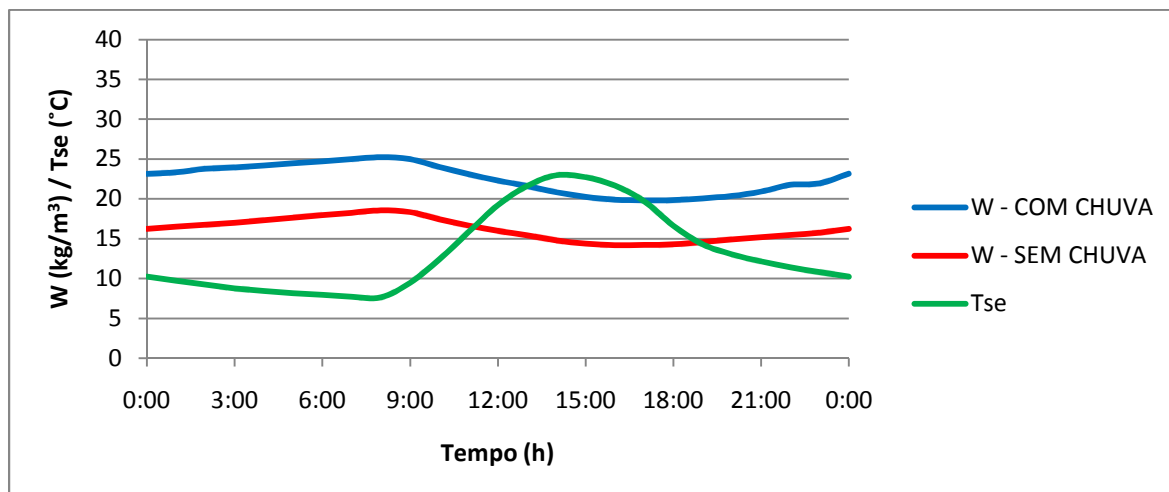


Fig. 4.32 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede Dupla – Sul)

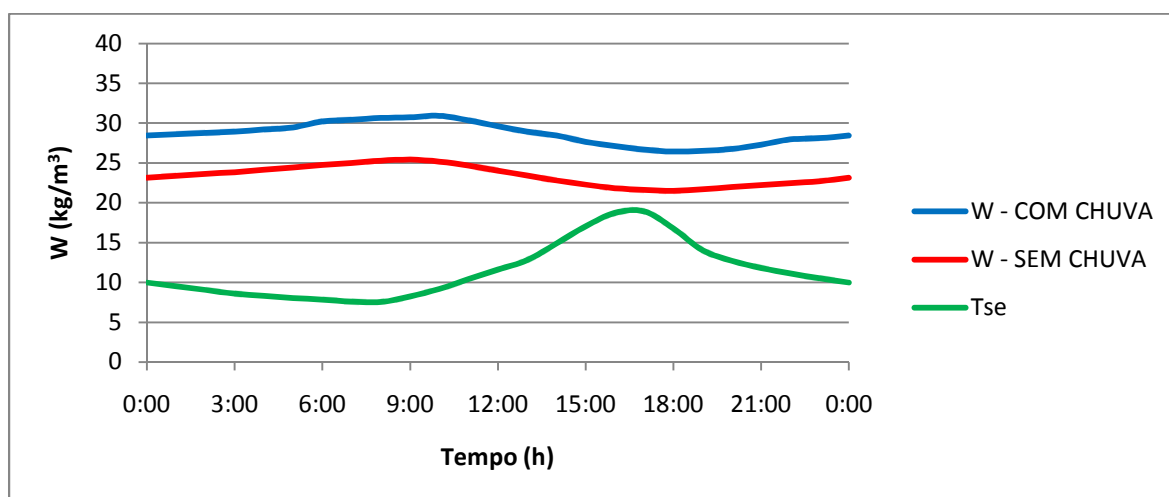


Fig. 4.33 – Variação do teor de humidade e da temperatura à superfície ao longo do dia (Parede Dupla – Oeste)

Do estudo anterior constata-se que a humedificação pela chuva incidente na fachada Este tem pouco significado, por outro lado, nas fachadas Sul e Oeste, esta faz-se notar de forma mais acentuada.

Nas fachadas Sul e Este o processo de secagem inicia-se mais cedo do que nas fachadas voltadas a Oeste e Norte, fazendo com que o teor de humidade superficial, nestas ultimas, se mantenha elevado por períodos de tempo mais prolongados.

Deste modo, conclui-se, tendo em conta a análise feita, que as paredes voltadas a Norte e a Oeste apresentam um maior risco de aparecimento de microrganismos.

Salienta-se o facto de esta conclusão não ser válida para o clima de Braga, uma vez que, e segundo os dados climáticos de que dispomos, a chuva, neste clima, incide sobretudo na fachada voltada a Este, daí esta apresentar teores de humidade superiores ao teor de humidade de referência durante períodos mais longos do que a fachada Oeste.

4.5.3. INFLUÊNCIA DA COR DA PAREDE

Do mesmo modo ao que foi feito para a parede ETICS, estudaram-se duas cores para a fachada. Com o objectivo de perceber a influência da cor do revestimento nas condensações e no teor de humidade à superfície

Com este propósito, realizaram-se as simulações numéricas partindo-se da situação base e variando a cor da fachada, bem como a sua localização.

4.5.3.1. Influência da cor nas condensações superficiais exteriores

De modo a tornar mais perceptível a diferença da quantidade de horas em que ocorrem condensações superficiais exteriores nas fachadas para as cores estudadas em cada um dos climas, construiu-se o gráfico apresentado na figura 4.34.

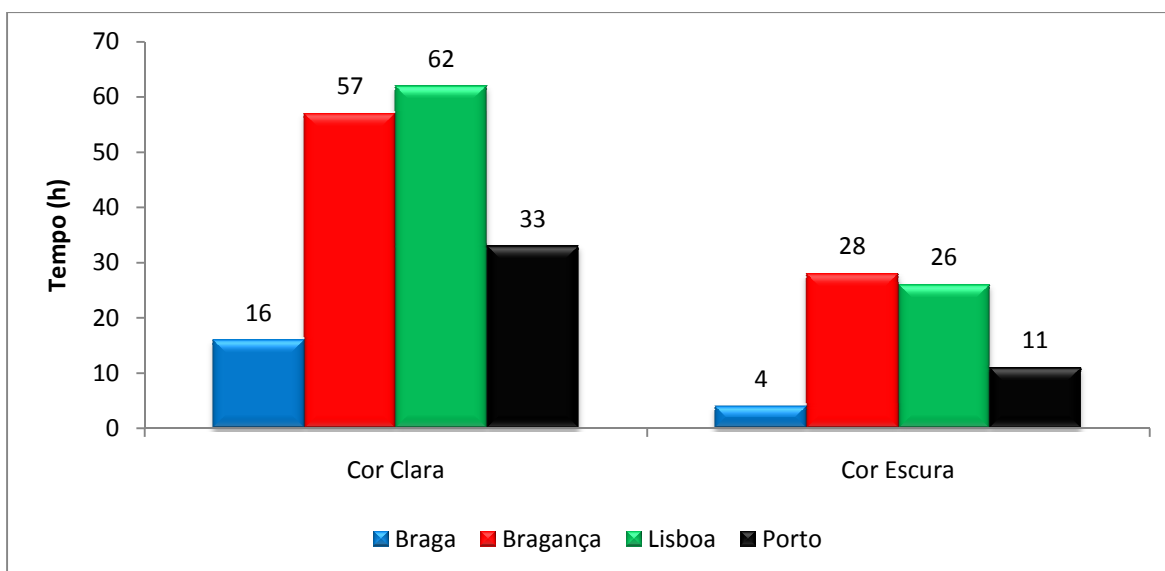


Fig. 4.34 – Influência da cor nas condensações superficiais exteriores na parede dupla

Da análise do gráfico anterior observa-se que, em qualquer um dos climas as paredes de cor clara têm maior risco de ocorrência de condensações.

4.5.3.2. Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla

Com o objectivo de perceber como a cor da fachada influencia o teor de humidade da camada superficial elaboraram-se os gráficos seguintes.

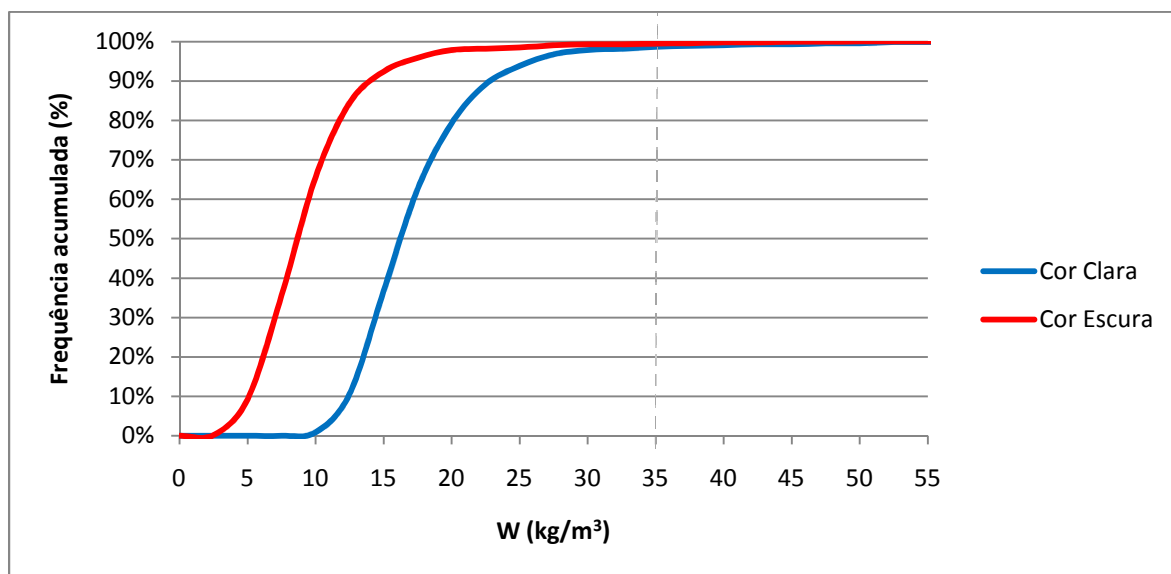


Fig. 4.35 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Braga)

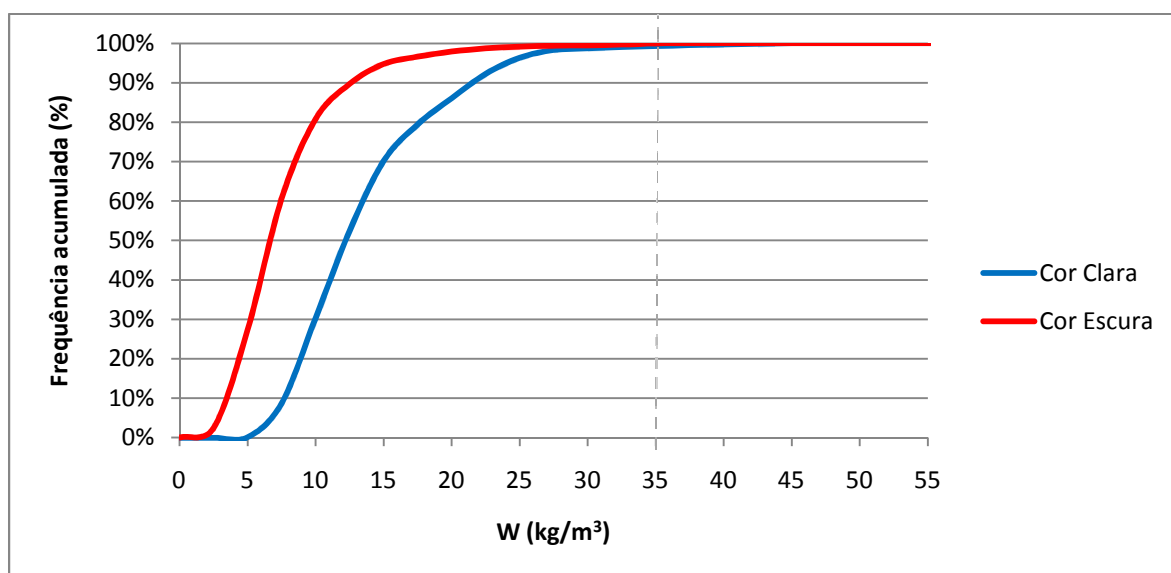


Fig. 4.36 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Bragança)

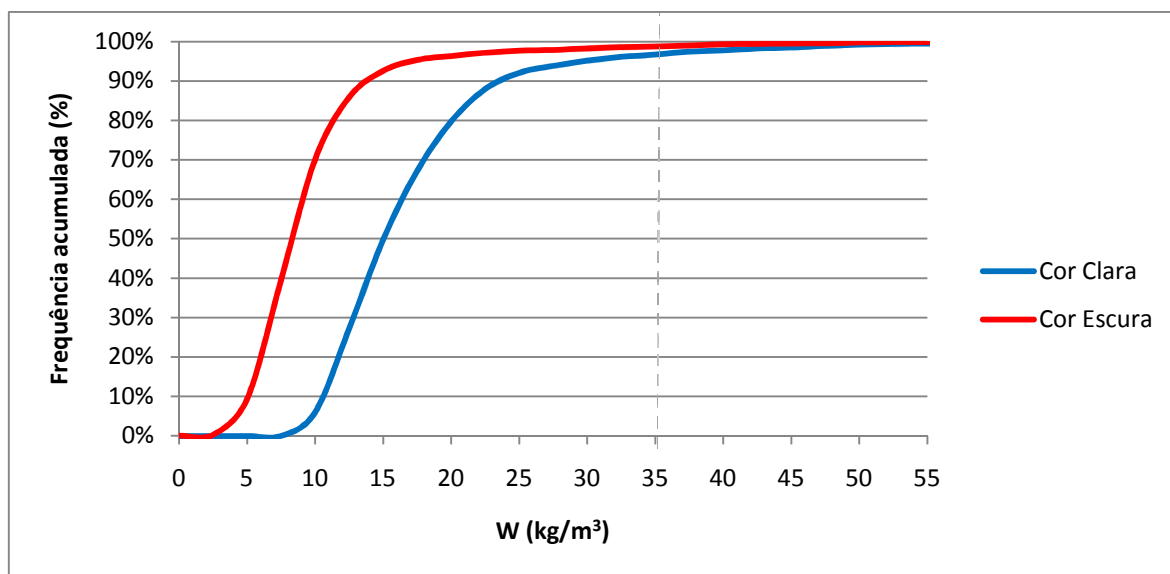


Fig. 4.37 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Lisboa)

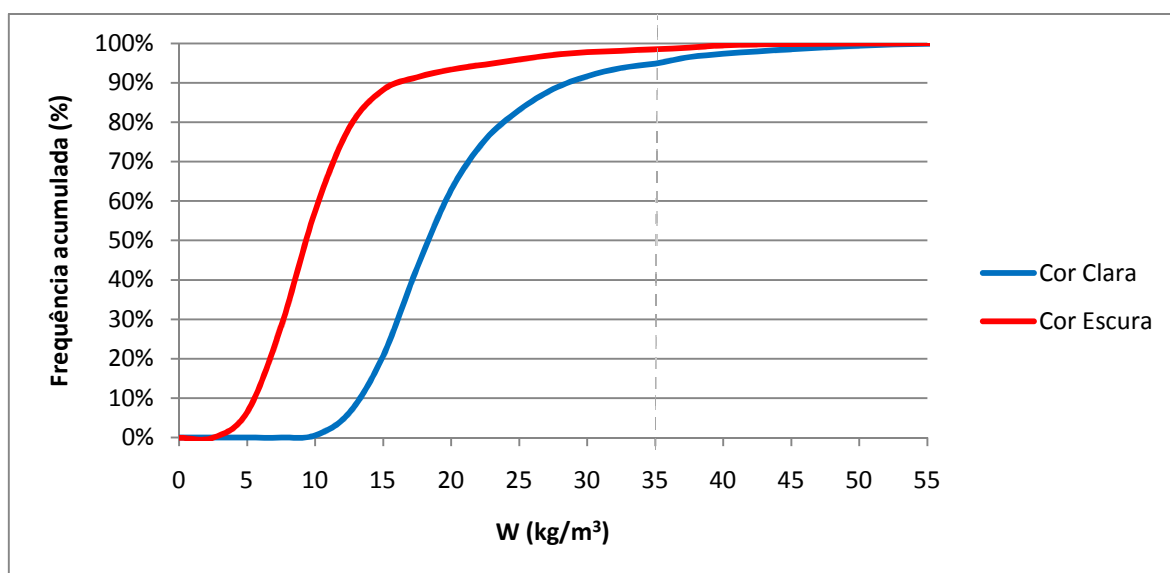


Fig. 4.38 – Influência da cor no teor de humidade da camada exterior da parede dupla (Porto)

Após o estudo dos gráficos anteriores torna-se evidente que, as fachadas em cor clara permanecem ao longo do ano com teores de humidade à superfície mais elevados do que as fachadas em cor escura.

4.5.3.3. Análise crítica dos resultados

Como se pode observar nesta análise as fachadas de cor clara apresentam maior risco de ocorrência de condensações superficiais, bem como teores de humidade superiores às fachadas de cor escura. Isto deve-se à radiação solar, as fachadas claras absorvem menos energia solar, logo as temperaturas superficiais serão também mais baixas, aumentando o risco de condensações.

A diferença entre os teores de humidade entre as fachadas de diferentes cores é, ainda, agravada pelo processo de secagem do elemento. Uma vez que as fachas escuras, estão sujeitas a temperaturas superiores secam mais rapidamente.

Depreende-se, deste estudo, que fachadas de cor clara aumentam o risco do crescimento de microrganismos e consequente degradação do aspecto exterior destas.

4.6. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS NOS DIFERENTES TIPOS DE PAREDES

4.6.1. CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS EXTERIORES

Para tornar clara a diferença entre o número de horas em que ocorrem condensações na parede ETICS e na parede dupla elaborou-se o gráfico que se segue (figura 38).

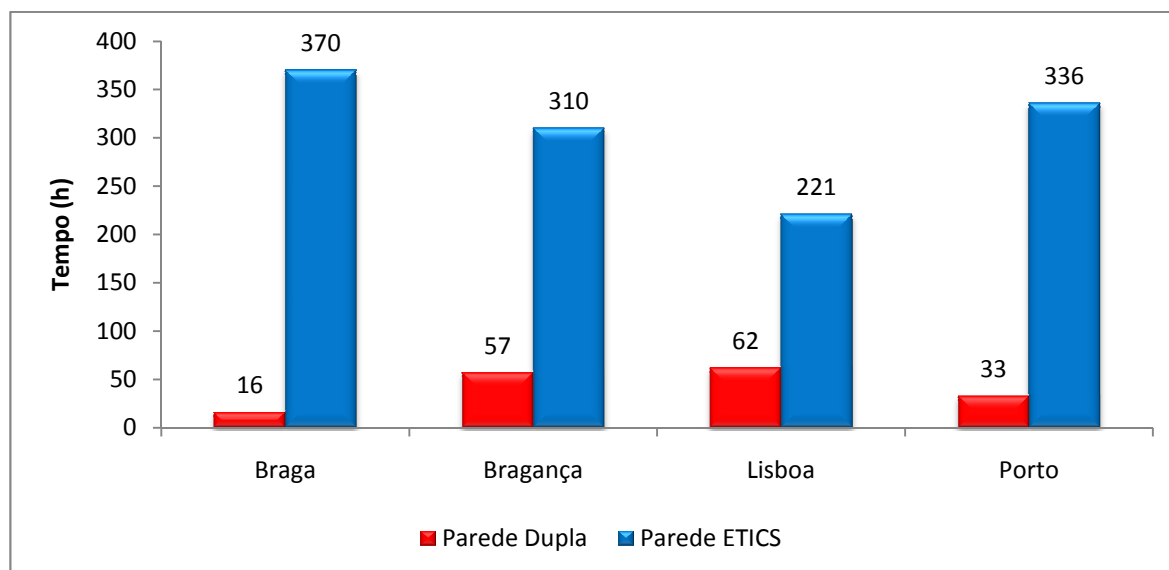


Fig. 4.39 – Influência da constituição da parede nas condensações superficiais exteriores

Na figura anterior é notória a diferença entre o número de horas em que ocorrem condensações superficiais nos dois tipos de parede, tendo a parede ETICS clara “vantagem” neste número. No entanto, esta diferença não se faz sentir de igual forma nos diferentes climas.

4.6.2. TEOR DE HUMIDADE NA CAMADA EXTERIOR

De modo a perceber como a constituição das paredes influencia o teor de humidade à superfície elaboram-se os gráficos representados. Visto que os materiais da camada superficial de cada uma das paredes são distintos, e de forma a tornar os resultados comparáveis, dividiu-se o teor de humidade w , pelo teor de humidade máximo, $w_{máx}$, correspondente a uma humidade relativa de 100%, para cada um dos materiais que constituem a camada superficial exterior das paredes.

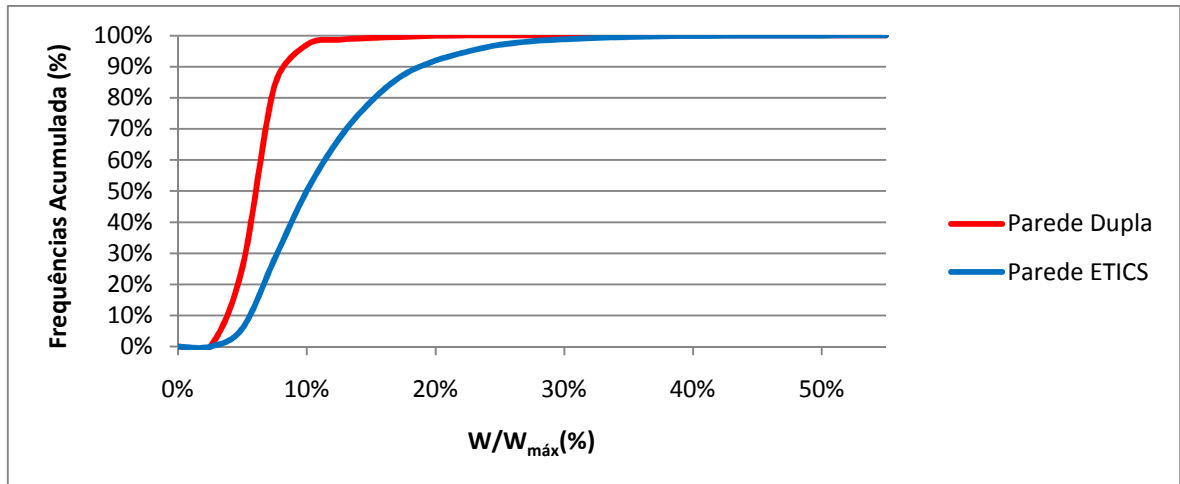


Fig. 4.40 – Influência da constituição da parede no teor de humidade da camada exterior (Braga)

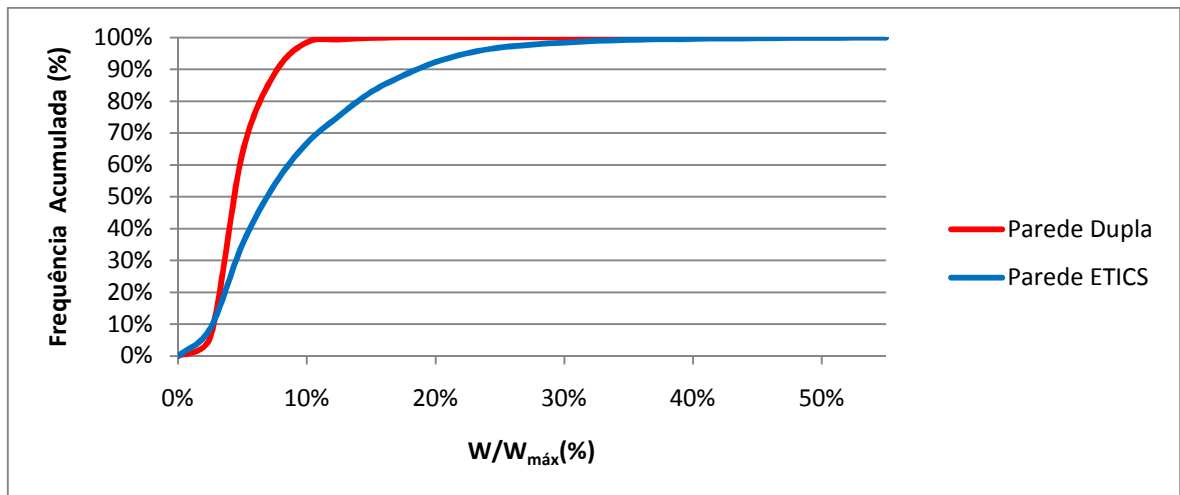


Fig. 4.41 – Influência da constituição da parede no teor de humidade da camada exterior (Bragança)

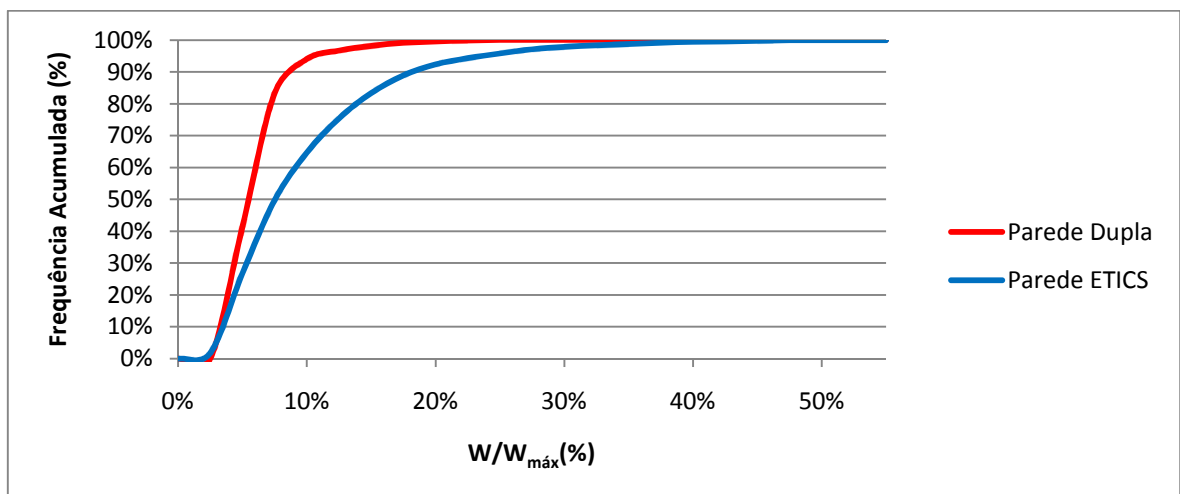


Fig. 4.42 – Influência da constituição da parede no teor de humidade da camada exterior (Lisboa)

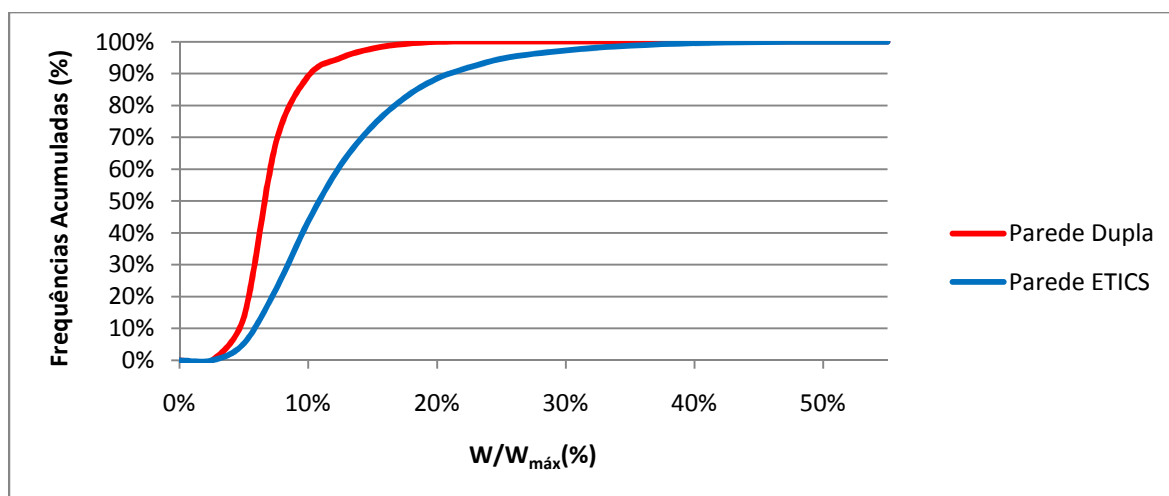


Fig. 4.43 – Influência da constituição da parede no teor de humidade da camada exterior (Porto)

Do estudo dos gráficos anteriores torna-se evidente que a parede ETICS permanece ao longo do ano com um grau de saturação superior ao da parede dupla.

4.6.3. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

Como se concluiu da análise feita, a ocorrência de condensações superficiais é significativamente superior na parede ETICS. Tal fenómeno deve-se à troca de radiação de onda longa entre a superfície exterior e a atmosfera que ocorre durante a noite. Esta troca radiante provoca uma descida acentuada da temperatura superficial da parede que, quando atinge valores mais baixos do que a temperatura de ponto de orvalho, dá origem a condensações. Assim, este fenómeno é tanto mais intenso quanto mais fina e menor inércia térmica tiver a camada exterior, explicando-se, deste modo, a diferença do número de horas em que ocorrem condensações entre a parede ETICS e a parede dupla.

Uma vez que apenas se variou a constituição da parede, nesta análise comparativa a chuva incidente será a mesma em ambos os casos para o mesmo clima. Assim, e tendo em conta que a camada exterior da parede ETICS apresenta-se ao longo do tempo com teores de humidade superiores aos da camada exterior parede dupla, conclui-se que o processo de secagem na parede ETICS não é suficientemente rápido para atenuar a humedificação resultante das condensações superficiais. Resultado disto será a mais rápida degradação do aspecto exterior das fachadas em ETICS devido ao crescimento de microrganismos (algas e fungos).

4.7. ANÁLISE DE RISCO

De forma a ser possível efectuar uma rápida interpretação do risco de ocorrência de condensações e do teor de humidade de referência ser superado, elaboraram-se duas tabelas que, através duma gradação de cores, possibilita perceber de entre as situações simuladas aquelas que terão mais e menos problemas. Assim, o verde será a cor que representa um risco menor, enquanto, o vermelho representa o maior risco e o amarelo o risco intermédio.

É importante referir que as condensações superficiais apenas influenciam o teor de humidade não tendo uma ligação directa com o aparecimento de microrganismos, já a análise feita ao teor de

humidade à superfície, pode ligar-se ao maior ou menor risco de aparecimento de microrganismos em cada uma das situações estudadas.

Quadro 4.6 – Análise de risco para a parede dupla

Clima	Orientação	Cor da parede	Condensações (horas)	Tempo em que o teor de humidade de referência é superado (%)
Braga	Norte	Clara	56	18.8%
		Escura	31	3.3%
	Este	Clara	39	5.1%
		Escura	23	0.9%
	Sul	Clara	16	1.4%
		Escura	4	0.6%
	Oeste	Clara	25	1.6%
		Escura	10	0.4%
Bragança	Norte	Clara	134	15.9%
		Escura	78	1.5%
	Este	Clara	92	0.5%
		Escura	45	0.1%
	Sul	Clara	57	0.7%
		Escura	28	0.1%
	Oeste	Clara	96	3.9%
		Escura	49	0.8%
Lisboa	Norte	Clara	112	33.2%
		Escura	74	12.8%
	Este	Clara	74	2.3%
		Escura	50	0.4%
	Sul	Clara	62	3.4%
		Escura	26	1.3%
	Oeste	Clara	84	14.8%
		Escura	47	4.5%
Porto	Norte	Clara	57	24.3%
		Escura	31	4.6%
	Este	Clara	41	6.8%
		Escura	22	1.6%
	Sul	Clara	33	5.2%
		Escura	11	1.6%
	Oeste	Clara	40	13.4%
		Escura	19	3.4%

Quadro 4.7 – Análise de risco para a parede ETICS

Clima	Orientação	Cor da parede	Espessura do Isolamento	Condensações (horas)	Tempo em que o teor de humidade de referência é superado (%)
Braga	Norte	Clara	5cm	417	79.5%
			8cm	505	82.8%
		Escura	5cm	355	54.9%
			8cm	451	58.3%
	Este	Clara	5cm	390	56.0%
			8cm	488	58.4%
		Escura	5cm	316	34.4%
			8cm	423	37.5%
	Sul	Clara	5cm	370	50.0%
			8cm	458	54.1%
		Escura	5cm	273	21.9%
			8cm	387	24.4%
	Oeste	Clara	5cm	380	60.8%
			8cm	474	64.7%
		Escura	5cm	288	32.3%
			8cm	402	36.1%
Bragança	Norte	Clara	5cm	365	52.0%
			8cm	434	55.4%
		Escura	5cm	319	43.1%
			8cm	398	44.8%
	Este	Clara	5cm	328	42.0%
			8cm	419	43.2%
		Escura	5cm	299	29.2%
			8cm	385	30.9%
	Sul	Clara	5cm	310	33.3%
			8cm	396	36.0%
		Escura	5cm	249	15.2%
			8cm	347	17.4%
	Oeste	Clara	5cm	343	42.9%
			8cm	425	44.7%
		Escura	5cm	288	27.7%
			8cm	370	29.8%
Lisboa	Norte	Clara	5cm	239	53.8%
			8cm	269	55.6%
		Escura	5cm	220	41.8%
			8cm	248	43.4%
	Este	Clara	5cm	227	39.4%
			8cm	262	41.2%
		Escura	5cm	212	24.5%
			8cm	242	25.9%
	Sul	Clara	5cm	221	35.4%
			8cm	248	37.4%
		Escura	5cm	192	15.7%
			8cm	226	16.9%
	Oeste	Clara	5cm	230	43.1%
			8cm	254	44.8%
		Escura	5cm	205	29.9%
			8cm	233	31.5%
Porto	Norte	Clara	5cm	360	82.7%
			8cm	423	85.4%
		Escura	5cm	314	57.7%
			8cm	382	61.0%
	Este	Clara	5cm	343	60.7%
			8cm	397	63.9%
		Escura	5cm	288	38.1%
			8cm	355	41.0%
	Sul	Clara	5cm	336	56.4%
			8cm	404	60.8%
		Escura	5cm	265	24.0%
			8cm	337	26.2%
	Oeste	Clara	5cm	342	65.1%
			8cm	422	68.2%
		Escura	5cm	271	37.1%
			8cm	340	40.7%

Visualizando os quadros anteriores retira-se, como conclusão imediata, que a parede dupla apresenta um risco muito baixo de ocorrência de condensações, bem como, que o teor de humidade de referência seja excedido, quando comparada com a parede ETICS.

Relacionando o crescimento de microrganismos com elevado teor de humidade na camada exterior das paredes, conclui-se que a situação mais propícia ao desenvolvimento de microrganismos, de entre as analisadas, é a parede ETICS localizada no Porto, virada a Norte em cor clara e espessura do isolamento de 8cm. A situação que potenciará um menor risco será a parede dupla inserida no clima de Bragança, virada a Sul e em cor escura.

De salientar que as direcções privilegiadas para a implantação de fachadas são as orientações Nascente e Sul. No entanto, no caso da parede ETICS ser de cor escura isto não se verifica, pois, neste caso, a fachada Nascente apresenta períodos de tempo mais longos do que a parede virada a Poente, em que o teor de humidade de referência é excedido.

Este facto poderá ter origem na influência que a condensação superficial tem no teor de humidade. Uma vez que, no caso das paredes serem escuras, as condensações ocorrem, em qualquer um dos climas, com maior frequência nas paredes voltadas a Nascente.

A maior ocorrência de condensações na fachada Nascente do que na Poente nas paredes escuras, é causada pela temperatura superficial que, no final do dia, é maior na fachada Oeste devido à incidência da radiação solar directa ao longo do período da tarde, e será tanto maior quanto mais radiação a superfície absorver, ou seja, quanto mais escura for a parede. Assim, a temperatura superficial mantém-se durante mais tempo acima da temperatura de ponto de orvalho, diminuindo a ocorrência de condensações.

Outra conclusão deste estudo é que a utilização de cores escuras e de espessuras menores de isolamento nas fachadas diminuem o risco de aparecimento de patologias associadas ao crescimento de microrganismos (algas e fungos).

5

CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE DOS RESULTADOS

Apresenta-se nos próximos parágrafos uma síntese das principais conclusões e considerações tecidas ao longo da análise efectuada, fornecendo assim, uma visão global do estudo desenvolvido.

A humidade nas fachadas dos edifícios provoca de uma forma lenta, invisível e silenciosa, degradações nos materiais de construção. Originada, na maior parte das vezes, pela incidência da chuva e por condensações à superfície, proporciona condições ideais para o desenvolvimento de microrganismos.

Existe uma vasta e complexa terminologia usada no domínio da higrotérmica, procurou-se neste trabalho, fazer uma listagem dos principais conceitos e parâmetros utilizados, de modo a poderem ser consultados de uma forma rápida e organizada pelos profissionais do sector.

A avaliação do comportamento higrotérmico dos componentes de construção é muito importante para evitar a curto ou longo prazo patologias induzidas pela humidade ou perdas de calor. Surge assim, a necessidade de utilizar ferramentas de simulação numérica avançada de modo a prever e evitar possíveis anomalias. No presente trabalho, utilizou-se o software “WUFI Pro 4.2”, com o intuito de estudar a influência do tipo de solução construtiva, do clima, da orientação do elemento, da cor da parede e da espessura do isolamento térmico nas condensações e no teor de humidade à superfície.

Foram simuladas duas paredes, designadamente, uma parede dupla com o isolamento térmico preenchendo parcialmente a caixa de ar e uma parede com o isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS. Para cada uma das paredes variaram-se os parâmetros anteriormente mencionados, o que fez um total de 96 simulações.

Sendo a humidade à superfície a principal causa para o aparecimento de microrganismos nas fachadas, o estudo de sensibilidade realizado permitiu concluir o seguinte sobre o desenvolvimento de microrganismos nas fachadas:

- O risco de patologias associadas ao crescimento de microrganismos é, sem margem para dúvidas, muito superior na parede com isolamento térmico pelo exterior - ETICS do que na parede dupla com isolamento na caixa de ar. Concluiu-se que a maior humidificação da parede ETICS resulta da condensação à superfície, que ocorre com maior frequência nesta parede devido à baixa inércia térmica da sua fina camada exterior.

- O clima do Porto e Braga são aqueles em que apresentam maior risco de crescimento de microrganismos na parede ETICS, quando comparados com os climas de Bragança e Lisboa.
- As fachadas voltadas a Norte são aquelas que apresentam maior risco do aparecimento desta patologia, o caso contrário acontece para as fachadas voltadas a Sul.
- As paredes de cor clara apresentam-se ao longo do tempo mais húmidas do que as paredes de cor escura.
- Quando se aumenta a espessura do isolamento da parede ETICS, esta apresenta teores de humidade superiores aos correspondentes a espessuras menores de isolamento térmico. Esta conclusão é muito importante tendo em atenção o aumento do nível de isolamento térmico que vai sendo exigido pelas novas directivas europeias.

Das noventa e seis situações analisadas aquela que apresenta maior risco de desenvolvimento de microrganismos é a parede ETICS localizada no Porto, virada a Norte, de cor clara e com 8cm de isolamento térmico. Por outro lado, a situação menos propícia ao aparecimento de patologias associadas ao crescimento de microrganismos é parede dupla inserida no clima de Bragança, virada a Sul e em cor escura.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O crescimento de microrganismos em fachadas é influenciado por variáveis aleatórias, e portanto, tem associado um certo grau de incerteza. Este trabalho surge como o início de um longo estudo sobre este fenómeno, e por isso, e apesar de ser possível retirar algumas conclusões sobre os parâmetros que o influenciam, os resultados obtidos devem ser analisados com algum cuidado.

Destacam-se, assim, as seguintes possíveis áreas de investigação complementares neste domínio:

- Identificar as algas e fungos mais frequentes;
- Instrumentar edifícios, para medir as temperaturas e o teor de humidade à superfície ao longo do tempo;
- Avaliar a influência da chuva e do processo de secagem no teor de humidade à superfície com maior rigor;
- Identificar o tempo de humidade necessário e as condições higrotérmicas ideais para o desenvolvimento de microrganismos de modo a estabelecer critérios de desempenho e limites de serviço das fachadas;
- Mapear o risco de desenvolvimento de algas e fungos nas fachadas em função do clima.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Barreira, E., Freitas, V.P. *Condensações superficiais nos ETICS*, 3.º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios - PATORREB, Porto, 2009.
- [2] Ziling, W., Lenz, K. Condensation on façades – influence of construction type and orientation. In *Research in Buildings Physics*, pp. 437-444, edited by Jan Carmeliet, Hugo Hens & Gerriet Vermier, Leuven, 2003.
- [3] Ferri, M. G. *Botânica: morfologia externa das plantas [organografia]*. Nobel, São Paulo, 1983.
- [4].https://www.fe.up.pt/si/conteudos_geral.conteudos_ver?pct_pag_id=1639&pct_parametros=p_ano_lectivo=2009/2010-y-p_cad_codigo=EC0066-y-p_perodo=1S&pct_disciplina=&pct_grupo=19576#19576. 27/12/2009.
- [5] **ISO 7345:1987** - Thermal insulation - Physical quantities and definitions.
- [6] **ISO 9251:1987** - Thermal insulation - Heat transfer conditions and properties of materials – Vocabulary
- [7] **ISO 9288:1989** - Thermal insulation - Heat transfer by radiation - Physical quantities and Definitions.
- [8] **ISO 9346:2007** - Hygrothermal performance of buildings and building materials – Physical quantities for mass transfer – Vocabulary.
- [9] **EN ISO 15927:2005** - Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data.
- [10] **EN ISO 13788:2001**- Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods.
- [11] **EN 15026:2007** - Hygrothermal performance of building components and building elements - Assessment of moisture transfer by numerical simulation.
- [12] **ISO 10456:2007** - Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.
- [13] **ISO 10051:1996** - Thermal insulation - Moisture effects on heat transfer - Determination of thermal transmissivity of a moist material.
- [14] Kumaran, M. K. IEA ANNEX 24 – FINAL REPORT - Heat, air and moisture transfer in insulated envelope parts – Task 3: Material properties.
- [15] Hens, H. BUILDING PHYSICS: HEAT, AIR AND MOISTURE - Fundamentals and engineering methods with examples and exercises.
- [16] Hagentoft, C. E. INTRODUCTION TO BUILDING PHYSICS.
- [17] 2005 ASHRAE HANDBOOK – FUNDAMENTALS.
- [18] Abalada, V. H. *Aplicação de Sistemas de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS)*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2008.
- [19] Base de dados do software – WUFI Pro 4.2 IBP

[20] Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril), Diário da República n.º 67, I Série, pp. 2468-2513.